

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

# **Řídicí systém portálového robotu**

## **Control System of Gantry Robot**

Student: Bc. Lukáš Tomek  
Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn

Ostrava 2010

---

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Tomek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Řídicí systém portálového robotu**  
**Control System of Gantry Robot**

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte variantní řešení řídicího systému portálového robotu s pěti stupni volnosti a proveďte volbu optimální varianty na základě hodnotové analýzy.
2. Vypracujte projekt HW řídicího systému včetně dokumentace rozvaděče řídicího počítače a elektrických rozvodů.
3. Vytvořte vhodné programové vybavení řídicího systému s podrobným popisem jeho funkcí.
4. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Novák, P. Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 256 s. ISBN 80-7300-141-1
  2. Katalog produktů Microcon. URL:<[http://www.microcon.cz/pdf2008/katalog\\_2008.pdf](http://www.microcon.cz/pdf2008/katalog_2008.pdf)> [Poslední aktualizace 10. 9. 2009 Microcon]
  3. Control of Stepping Motors - A Tutorial. URL:<<http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/>> [Last Modified 14-Sep-2009 by Douglas W. Jones]
-

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Vladimír Mostýn**

Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



---

prof. Dr.Ing. Petr Novák  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
*děkan fakulty*

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

---

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Tomek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Sokolská 10, Bobrovníky, 74801

---

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Tomek, L. *Řídicí systém portálového robotu : diplomová práce*. Ostrava : VŠB –  
Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní, Katedra robototechniky – 354,  
2010, 56 s. Vedoucí práce: Mostýn, V.

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací řídicího systému pro portálový robot s krokovými motory. Robot se nachází v laboratořích katedry robotiky. Byly sestaveny tři varianty řídicího systému. Pomocí hodnotové analýzy byla vybrána optimální varianta.

Varianta byla otestována na možnosti plnění potřebných funkcí. Zpracována v podobě výkresové dokumentace a realizována spolu s ovládacím programem v laboratořích katedry.

## **ANOTATION OF MASTER THESIS**

Tomek, L. *Control System of Gantry Robot : Master Thesis*. Ostrava : VŠB  
– Technical university of Ostrava. Faculty of Mechanical  
Engineering, Department of Robotic – 354, 2010, 56 s. Thesis  
head: Mostýn, V.

This thesis dealing with design and implementation of control system for the gantry robot with stepper motors. The robot is located in the laboratories of the Department of Robotics. Were prepared three variants of the control of the entire system. Using value analysis was chosen best option.

Variant was tested for the possibility of fulfilling the necessary functions. Prepared in the form of drawings and implemented together with the control program.

---

## Obsah

<b>1.</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>Řídicí systém.....</b>	<b>10</b>
2.1.	<i>Struktura řídicího systému .....</i>	<i>12</i>
<b>3.</b>	<b>Krokové motory .....</b>	<b>13</b>
3.1.	<i>Reakční krokové motory.....</i>	<i>13</i>
3.2.	<i>Krokové motory s permanentním magnetem .....</i>	<i>13</i>
3.3.	<i>Hybridní krokové motory .....</i>	<i>14</i>
<b>4.</b>	<b>Buzení fází krokových motorů.....</b>	<b>15</b>
4.1.	<i>Napěťovým zdrojem .....</i>	<i>16</i>
4.2.	<i>Nuceným proudem .....</i>	<i>16</i>
4.3.	<i>Proudový zdroj „CHOPPER“ .....</i>	<i>17</i>
<b>5.</b>	<b>Stávající zařízení.....</b>	<b>18</b>
5.1.	<i>Motory na robotu .....</i>	<i>20</i>
<b>6.</b>	<b>Požadavkový list.....</b>	<b>21</b>
<b>7.</b>	<b>Varianty řešení.....</b>	<b>22</b>
7.1.	<i>Varianta A.....</i>	<i>22</i>
7.2.	<i>Varianta B.....</i>	<i>23</i>
7.3.	<i>Varianta C.....</i>	<i>24</i>
<b>8.</b>	<b>Výběr optimální varianty .....</b>	<b>25</b>
8.1.	<i>Kriteria hodnocení.....</i>	<i>25</i>
8.2.	<i>Hodnoty kritérií.....</i>	<i>25</i>
8.3.	<i>Hodnoty kritérií pro jednotlivé varianty .....</i>	<i>26</i>
8.4.	<i>Porovnávání kritérií v trojúhelníku párů.....</i>	<i>27</i>
8.5.	<i>Výpočet vážených indexu .....</i>	<i>28</i>
8.6.	<i>Stanovení výsledné varianty.....</i>	<i>29</i>

---

<b>9.</b>	<b>Rozbor vybrané varianty .....</b>	<b>30</b>
9.1.	<i>Výkonový stupeň 6410-001 .....</i>	30
9.2.	<i>Výpočetní část PISO PS400 .....</i>	31
9.3.	<i>Výpočetní část C1x .....</i>	32
<b>10.</b>	<b>Testování komponent .....</b>	<b>33</b>
10.1.	<i>Karty PS400 .....</i>	33
10.2.	<i>Zapojení krokových motorů na budiče .....</i>	34
10.3.	<i>Schopnost regenerace energie .....</i>	35
10.4.	<i>Dimenzování zdroje .....</i>	36
<b>11.</b>	<b>Zapojení řídicí části .....</b>	<b>39</b>
11.1.	<i>Napájení výkonových modulů .....</i>	39
11.2.	<i>Napájecí zdroje .....</i>	40
11.3.	<i>Rozmístění komponent v rozvodné skříni .....</i>	41
11.4.	<i>Realizace řídicí části .....</i>	42
<b>12.</b>	<b>Řídicí aplikace .....</b>	<b>43</b>
12.1.	<i>Nástrojová lišta .....</i>	44
12.2.	<i>Menu programu .....</i>	47
12.3.	<i>Průběh programu .....</i>	48
12.4.	<i>Příkazy programu .....</i>	51
<b>13.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>14.</b>	<b>Seznam použité literatury a zdrojů .....</b>	<b>53</b>
<b>15.</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>54</b>
<b>16.</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>55</b>
<b>17.</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>56</b>

---



## Seznam použitých zkratk

ASIC – (Application-specific integrated circuit) Je to elektronická součástka, která je naprogramována při výrobě pro určitou aplikaci, nelze jí tedy přiřadit jinou výrazně odlišnou funkci. [9]

FPGA – (Field-programmable gate array) Je elektronická součástka používaná pro vytváření digitálních obvodů. Na rozdíl od hradel, registrů a jiných digitálních obvodů není funkce zařízení tohoto druhu v době výroby ještě definovaná. Než může být FPGA použito, musí být nejprve naprogramováno. [11]

PLC – (Programmable Logic Controller) Programovatelný logický automat je relativně malý průmyslový počítač používaný pro automatizaci procesů v reálném čase - řízení strojů nebo výrobních linek v továrně. [10]

PCI – (Peripheral Component Interconnect) Je počítačová sběrnice pro připojení periférií k základní desce, která není omezená na platformu osobních počítačů PC. [12]

PC – (Personal computer) Osobní počítač

## 1. Úvod

Na počátku minulého století vznikl tlak na zvyšování produktivity výroby. Jeho důsledkem bylo zavedení pásové výroby a s ní později spojenou automatizaci. Až se trh dostal do stavu převahy nabídky nad poptávkou, velkými sériemi výrobku s malou variabilitou. Což byl důsledek tvrdé automatizace výrobních linek, jejíž přestavba pro pozměněný výrobek byla náročná. Tehdy se objevily vhodné podmínky pro průmyslové roboty. [1]

Průmyslový robot je automaticky řízený neprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, stacionární nebo umístěný na pojezdu, určený k použití v průmyslové automatizaci (dle definice ISO). Průmyslový robot má tři hlavní subsystémy: akční, řídicí a vnímací. [1]

Akční – Lze ještě rozdělit na nosný (mechanická konstrukce) a výkonný (pohony) subsystém.

Vnímací – Především snímače, slouží k sledování činnosti systému samotného robotu. Případně identifikaci polohy objektu, rozlišení tvaru a rozměru u adaptivního systému. Člověk určuje prováděnou činnost.

Řídicí – Vyhodnocuje údaje z vnímacího subsystému a upravuje vstupy do akčního subsystému tak aby odpovídal požadavkům na prováděnou činnosti. [2]

V laboratořích katedry robotiky se nachází mechanická konstrukce portálového průmyslového robotu AZP-7LR-2 opatřená výkonným subsystémem tvořeného krokové motory. Cílem této diplomové práce je navrhnout a realizovat řídicí systém s grafickým ovládacím prostředím.

## 2. Řídicí systém

Průmyslový robot sám o sobě neumí provádět žádnou činnost. Člověk mu musí ukázat činnost, kterou bude provádět. To lze provádět několika způsoby: zadáváním z ovládacího panelu, programováním na počítači ve virtuálním prostředí. Oběma způsoby vznikne ovládací program. Ten se uloží do řídicího systému (Obr. 1). Po spuštění řídicího systému se program opakuje v cyklu. [2]



Obr. 1 – Příklad řídicího systému firmy ABB [6]

Program je tvořen jistým souborem elementárních úkonů, operací, které mají definovanou vzájemnou souvislost. Řídicí systém robotu zajišťuje transformaci požadovaného programu na odpovídající pohyb efektoru a provedení příslušných doprovodných funkcí. [2]

Efektor může při pohybu procházet jednotlivými definovanými body nebo se může pohybovat po určené dráze. Z toho tedy vychází dva způsoby řízení:

- Řízení z bodu do bodu (PTP – point to point)

Dráha mezi body není definována. Používá se u bodového svařování zejména u starších robotů.

- Řízení po dráze (CP – continuous path)

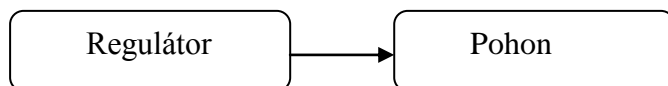
Dráha mezi body je určena typem křivky. Průběh dopočítává řídicí systém. Zvládají všechny řídicí jednotky posledních let. Používá se na technologické operace: obloukové svařování, nanášení lepidla.

Z Hlediska principu řízení zrychlení, rychlosti a polohy závisícím na typu použitých pohonu, lze rozlišit dva základní systémy:

- Otevřený

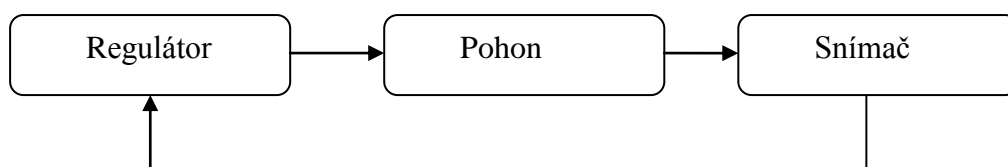
Toto řízení je bez kontroly provedení úkonů. Jednotlivé pohony obdrží určité množství energie, které odpovídá určité rychlosti a poloze. Pokud dojde k přetížení

pohonu, informace o poloze v řídicím systému neodpovídá poloze robotu. Užívá se u pohonu, které jsou rozděleny na diskrétní úseky, mezi nimiž se můžeme po určitém množství pohybovat, například krokové motory.



- Uzavřený

Uzavřené systémy nebo také systémy se zpětnou vazbou mají informaci o poloze nebo o změně polohy či rychlosti. Po vyslání určitého množství energie je toto množství korigováno podle zrychlení a rychlosti, které pohon vyvinul. Dokážou detekovat chyby v systému.

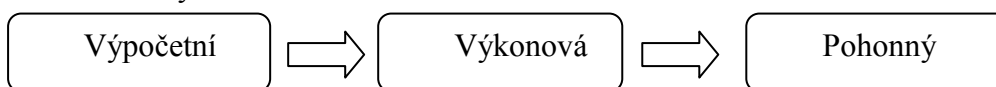


## 2.1. Struktura řídicího systému

Řídicí systém skládá se spousty prvků, které jsou ve vztahu k mechanické konstrukci.

Rozdělme ho na dvě hlavní části.

- Výpočetní
- Výkonová



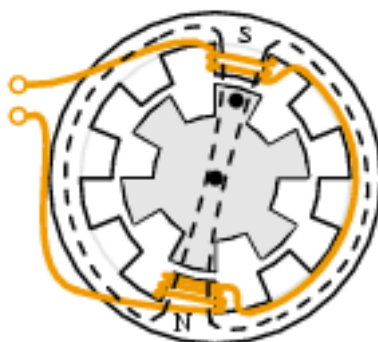
Výpočetní část uchovává program, provádí potřebné matematické operace, synchronizaci vzájemných pohybů a zprostředkovává komunikaci s uživatelem. Zpracovává signály z odměřovacího systému. Na základě nich vyhodnocuje průběh pohybu, případně řeší zpětnou vazbu. [2]

Výkonová převádí vstupní signál na odpovídající napětí proud a frekvenci, kterou je potřeba dodat motorům pro odpovídající činnost. Zajišťuje také funkci nouzového zastavení, kterou je potřeba provádět přes základní stupeň, který je odolný proti programovým chybám nadřazeného systému. [2]

### 3. Krokové motory

#### 3.1. Reakční krokové motory

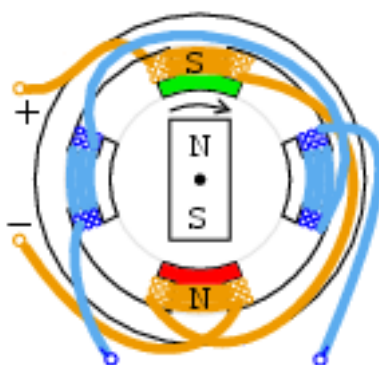
První krokové motory byly reakčního typu (Obr. 2) stator obsahuje vyniklé pólové nástavce, tak jako rotor. Stator i rotor jsou zhotoveny z ocelových plechů. Vinutí na statorových pólových nástavcích generuje magnetické pole, každá dvojice pólových nástavců má svou fázi. Magnetický tok tekoucí mezi póly orientuje rotor do polohy nejmenších odporů magnetického toku. Magnetický tok má tím nejmenší odpor, čím je menší vzduchová mezera ve směru magnetického toku, což znamená, že pólové nástavce se orientují proti sobě. Rotor má odlišný počet pólových nástavců oproti statoru. Přepnutím fází dochází ke změně toku magnetického pole a tím k pootočení rotoru. [5]



Obr. 2 – Reakční krokový motor [4]

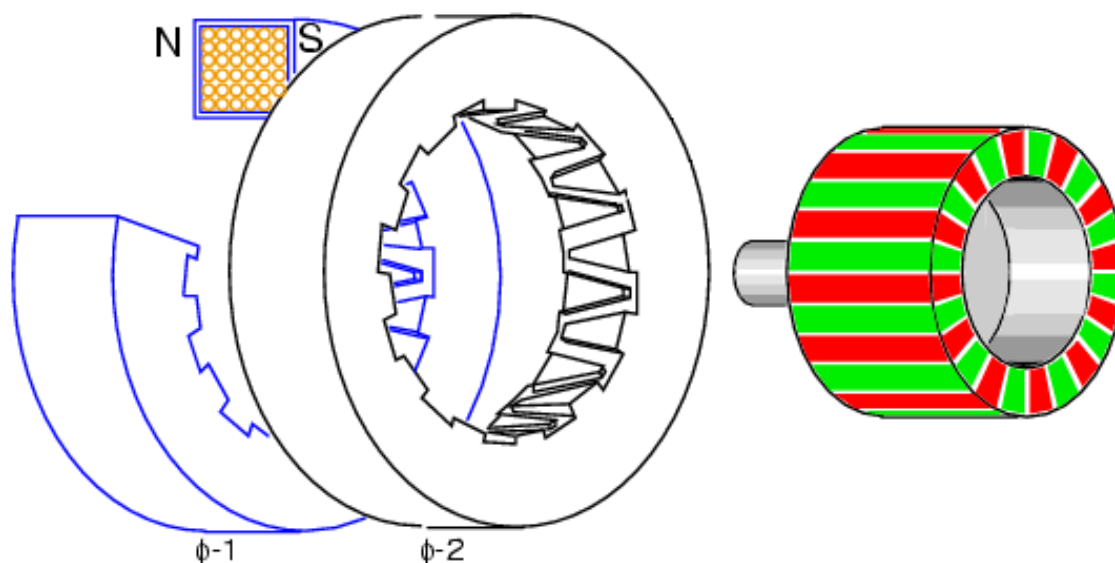
#### 3.2. Krokové motory s permanentním magnetem

U těchto motorů je zaměněn rotor z oceli za rotor z permanentních magnetů (Obr. 3). Jižní pól permanentního magnetu rotoru je přitahován severním pólem elektromagnetu na statoru. Z obrázku je patrné, že pro otáčení rotoru je potřeba vybudit první fázi, druhou, první s opačnou polaritou, druhou s opačnou polaritou. [5]



Obr. 3 – Krokový motor s permanentním magnetem [4]

Zásadní rozdíl je v konstrukci (Obr. 4) stator ani rotor nemají vyniklé póly. Magnety jsou tedy orientovány v radiálním směru. [5]

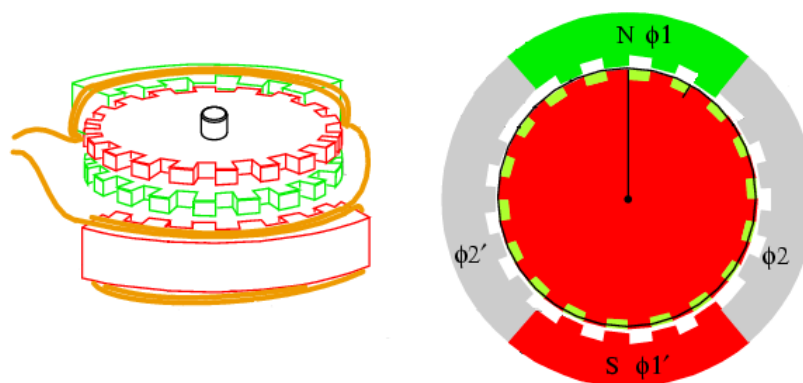


Obr. 4 – Konstrukce Krokového motoru s permanentním magnetem [4]

Cívky jsou orientovány v axiálním směru. Mají trojúhelníkové výstupky, výstupky tedy přitahují permanentní magnety na rotoru. Druhá cívka je posunuta o polovinu výstupku, což umožňuje otáčení střídáním buzení fází. [5]

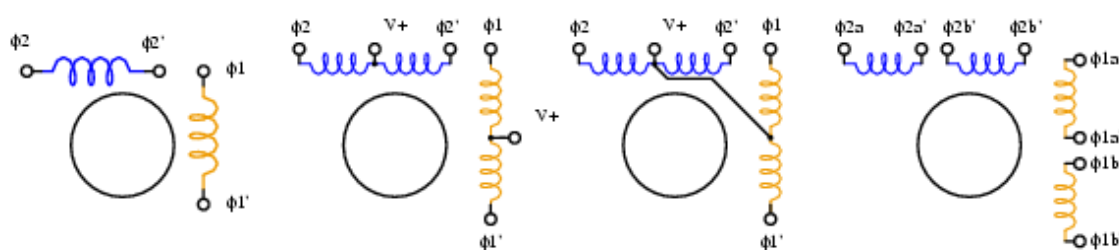
### 3.3. Hybridní krokové motory

Jsou spojením konstrukce obou předchozích motorů. Stator obsahuje vyniklé póly s cívkami. Rotor obsahuje permanentní magnet v axiálním směru, na něm jsou dva hrníčky s výstupky, které jsou navzájem posunuty tak, že v mezeře jižního pólu (červená na Obr. 5) je výstupek pólu severního (zelená na Obr. 5). Spínání fází odpovídá motoru s permanentními magnety. Fáze jsou tedy dvě. Existují i motory s více fázemi např. pěti. Dále se budu zabývat pouze těmito motory. [5]



Obr. 5 – Hybridní krokový motor [4]

Změna polarity při buzení fází (bipolární buzení) vyžaduje dvojnásobné množství polovodičových součástek. Z tohoto důvodu byl střed vinutí vyveden, prostřední vodič se připojí na kladné napětí, zbývající konce se připojí na zem, tomu se říká unipolární buzení. Tím vzniká z motoru s čtyřmi vývody, motor s šesti vývody případně s pěti vývody (Obr. 6). Aby si uživatel mohl vybrat, jestli bude provozovat unipolární buzení nebo bipolární, byla vinutí rozdělena na dvě části a všechny konce byly vyvedeny na svorkovnici motoru. [5]

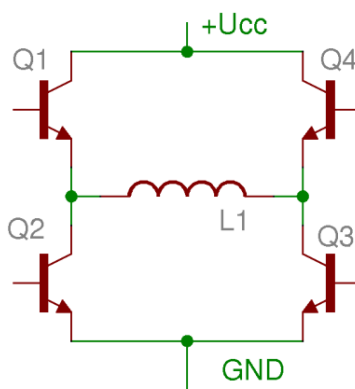


Obr. 6 – Vinutí dvoufázového krokového motoru [4]

Dnešní budicí obvody jsou bipolární (unipolární se ještě vyrábějí, ale spíše pro staré šesti vývodové motory nebo hobby využití), rozdělení fází má za účel. Motor se sériové zapojenými fázemi má vyšší krouticí moment v nižších otáčkách, paralelní zapojení má nižší krouticí moment, ale udrží ho i při vyšších otáčkách.

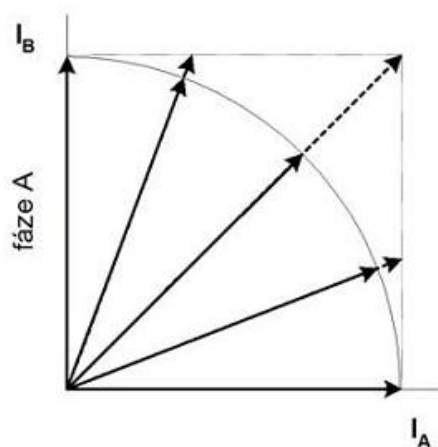
#### 4. Buzení fází krokových motorů

U bipolárního buzení se budí jednotlivé fáze motoru pomocí H mostu (Obr. 7). Otevřením tranzistorů Q1 a Q3 se budí cívka kladným napětím zleva a záporným zprava. Otevřením tranzistorů Q2 a Q4 se smysl protékání proudu obrátí. [3]



Obr. 7 – H most

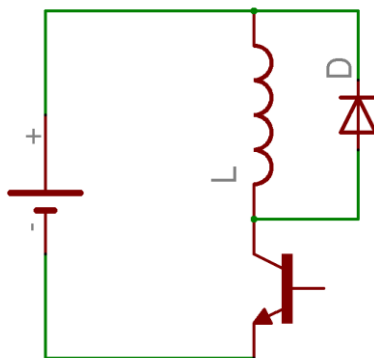
Moderní budiče budí obě fáze současně, změnou poměru proudu v jednotlivých fázích dochází k mikrokrokování (Obr. 8). Rozdělení kroku na několik menších. [3]



Obr. 8 – Mikrokrokování [3]

#### 4.1. Napětovým zdrojem

Aktivní cívka je přímo připojená ke zdroji (Obr. 9). Toto uspořádání je nevhodné kvůli poměru odporu a indukčnosti cívky, ten způsobuje pozvolný nárůst proudu na cívce. Při vyšších otáčkách proud nenabude nominální hodnoty a motor ztrácí prudce krouticí moment (Obr. 12a). [3]

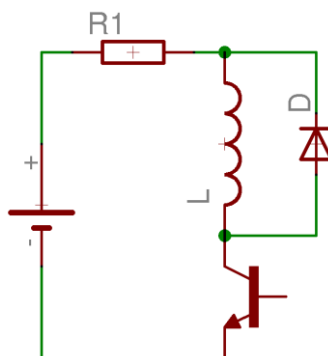


Obr. 9 – Zapojení cívky na napětový zdroj

#### 4.2. Nuceným proudem

Mezi zdroj napětí a cívku se vloží přídavný odpor (Obr. 10). Ten zajistí zlepšení poměru odporu a indukčnosti. To zajistí mírnější pokles krouticího momentu (Obr. 12b). Nevýhoda tohoto řešení je výkonové ztráty na odporu, které se projevují ve formě tepla. [3]

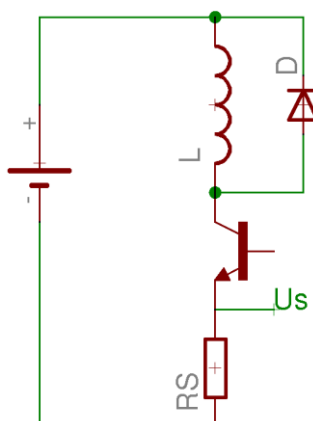




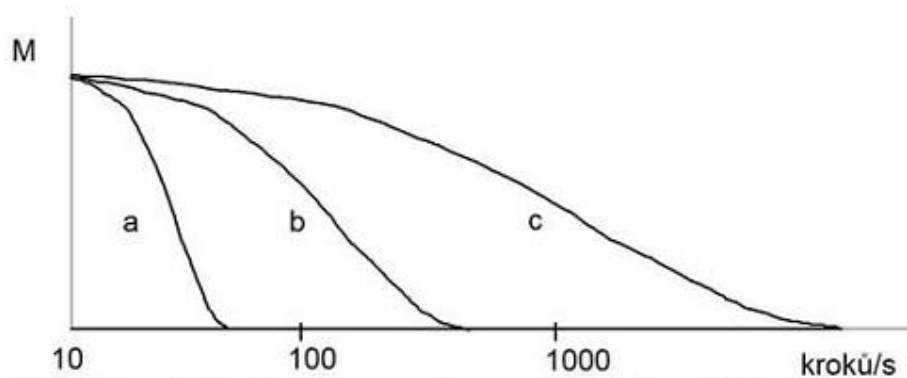
Obr. 10 – Zapojení cívky s nuceným proudem

### 4.3. Proudový zdroj „CHOPPER“

Obsahuje měřicí odpor  $R_s$ , pomocí úbytku napětí  $U_s$  na odporu se sleduje protékající proud, pokud proud dosáhne potřebné hodnoty, tranzistor odpojí cívku, po nějaké časové prodlevě se opět připojí (Obr. 11). Díky tomuto systému můžeme značně zvýšit napětí, aniž bychom poškodili vinutí cívky. Zvýšením napětí urychlíme náběh proudu na cívce a tím omezíme pokles momentu při větších otáčkách motoru (Obr. 12c). [3]



Obr. 11 – Zapojení cívky na proudový zdroj



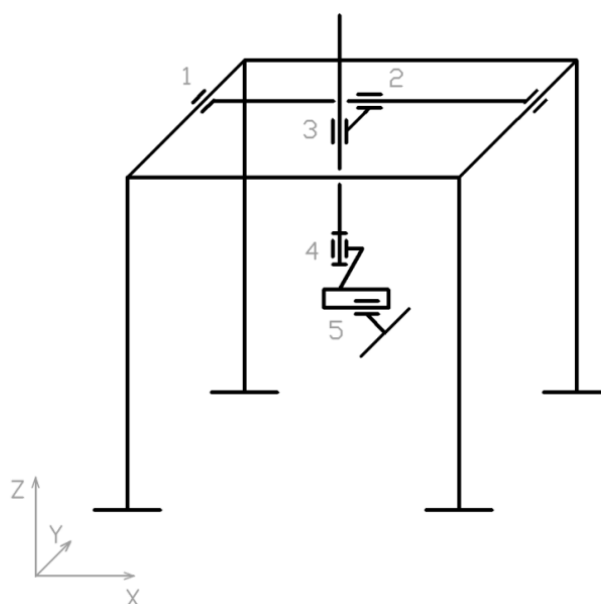
Obr. 12 – Závislost momentu na způsobu buzení, a) napěťový zdroj, b) nucený proud, c) proudový zdroj [3]

## 5. Stávající zařízení

Mechanická konstrukce portálového robotu AZP-7RL-2 (Obr. 13), je opatřena pěti hybridními krokovými motory. Tři krokové motory zabezpečují pohyb v kartézském souřadném systému os X (Obr. 14 – 1), Y (Obr. 14 – 2), Z (Obr. 14 – 3). Čtvrtý motor U (Obr. 14 – 4) zabezpečuje rotaci efektoru kolem osy Z. Poslední motor R (Obr. 14 – 5) je přídatný pro vyosení efektoru. Všechny osy jsou osazeny mechanickými koncovými spínači, pro určení počáteční polohy.



Obr. 13 – Portálový robot AZP-7RL-2



Obr. 14 – Kinematické schéma robotu

**Základní technické údaje**

Maximální nosnost interface	20Kg
Pracovní prostor	1000x1000x750 mm
Opakovaná přesnost koncového členu	$\pm 0,2 \text{ mm}$

**Lineární jednotka horizontální (Obr. 14 – 1,2)**

Maximální rozsah pohybu	1000 mm
Minimální pracovní rychlost	$v_{min} = 0,0015 \text{ ms}^{-1}$
Maximální pracovní rychlost	$v_{max} = 0,04 \text{ ms}^{-1}$
Polohovací rychlost	$v_p = 0,15 \text{ ms}^{-1}$

**Lineární jednotka vertikální (Obr. 14 – 3)**

Maximální rozsah pohybu	750 mm
Minimální pracovní rychlost	$v_{min} = 0,0015 \text{ ms}^{-1}$
Maximální pracovní rychlost	$v_{max} = 0,04 \text{ ms}^{-1}$
Polohovací rychlost	$v_p = 0,15 \text{ ms}^{-1}$

**Rotační jednotka (Obr. 14 – 4)**

Maximální rozsah pohybu	$\pm 3,316 \text{ rad}$
Minimální pracovní rychlost	$\omega_{min} = 0,0276 \text{ rads}^{-1}$
Maximální pracovní rychlost	$\omega_{max} = 0,04 \text{ rads}^{-1}$

**Jednotka změny rádiusu (Obr. 14 – 5)**

Maximální rozsah pohybu	125 mm
Polohovací rychlost	$v_p = 0,03 \text{ ms}^{-1}$

Rychlost a přesnost závisí na řídicím systému, jelikož není známo, který parametr je omezen mechanikou konstrukce, který původním řídicím systémem, v navrhovaném řídicím systému je snaha dodržet výše zmíněné parametry.

## 5.1. Motory na robotu

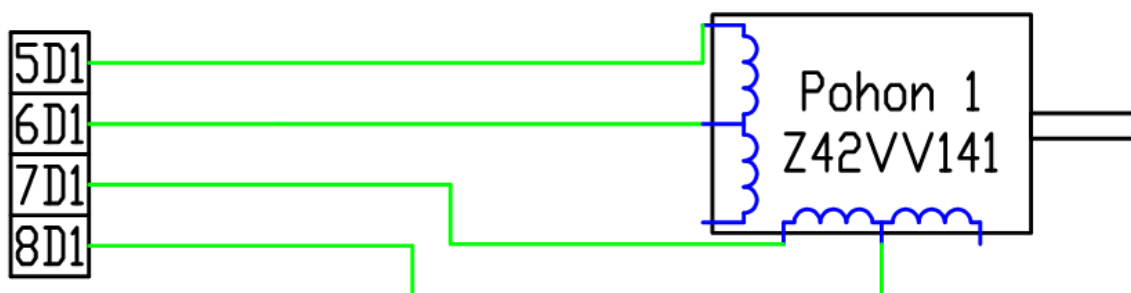
Robot je osazen hybridními krokovými motory firmy ZSE MEZ Náchod. Vinutí motoru je dvou fázové, čtyřpólové. V rotoru je permanentní magnet, rotor je uložen v kuličkových ložiskách. Ložiskové štíty jsou hliníkové, kostra ocelová. Provedení motoru je přírubové se dvěma volnými konci hřídele. Motor se připojuje šesti volnými přívody. Pro případ řízení v uzavřené smyčce lze motor osadit inkrementálním čidlem.

Motory v osách X, Y, Z osu typu Z42VV141 s jmenovitým proudem 7,1A. Motor U (rotace) je typu Z42RS145 s jmenovitým proudem 7A. Motor R (vyosení efektoru) je typu Z42QN147 s jmenovitým proudem 5,5A.



Obr. 15 – Motor Z42VV141

Vedení na robotu od motoru do svorkovnice je u motoru v osách X, Y, Z tvořeno pouze čtyřmi vodiči je tedy nutné k napájení použít bipolární buzení (Obr. 16). Další dva motory U, R mají vyvedené všech šest vodičů, ale výkonové moduly budou použity stejné. Výkonový modu dále musí dodávat do motoru hodnotu proudu 7A, aby bylo dosaženo požadovaných rychlostí.



Obr. 16 – Zapojení motoru na svorkovnici

## 6. Požadavkový list

- Polohovací rychlosti v osách X, Y, Z  $v_p = 0,15 \text{ ms}^{-1}$

V ose rotační  $\omega_{max} = 0,04 \text{ rads}^{-1}$

V ose páté lineární  $v_p = 0,03 \text{ ms}^{-1}$

- Grafické ovládací prostředí
- Pohyb po přímce
- Možnost vytvoření pracovního cyklu
- Programování jednoduchými příkazy

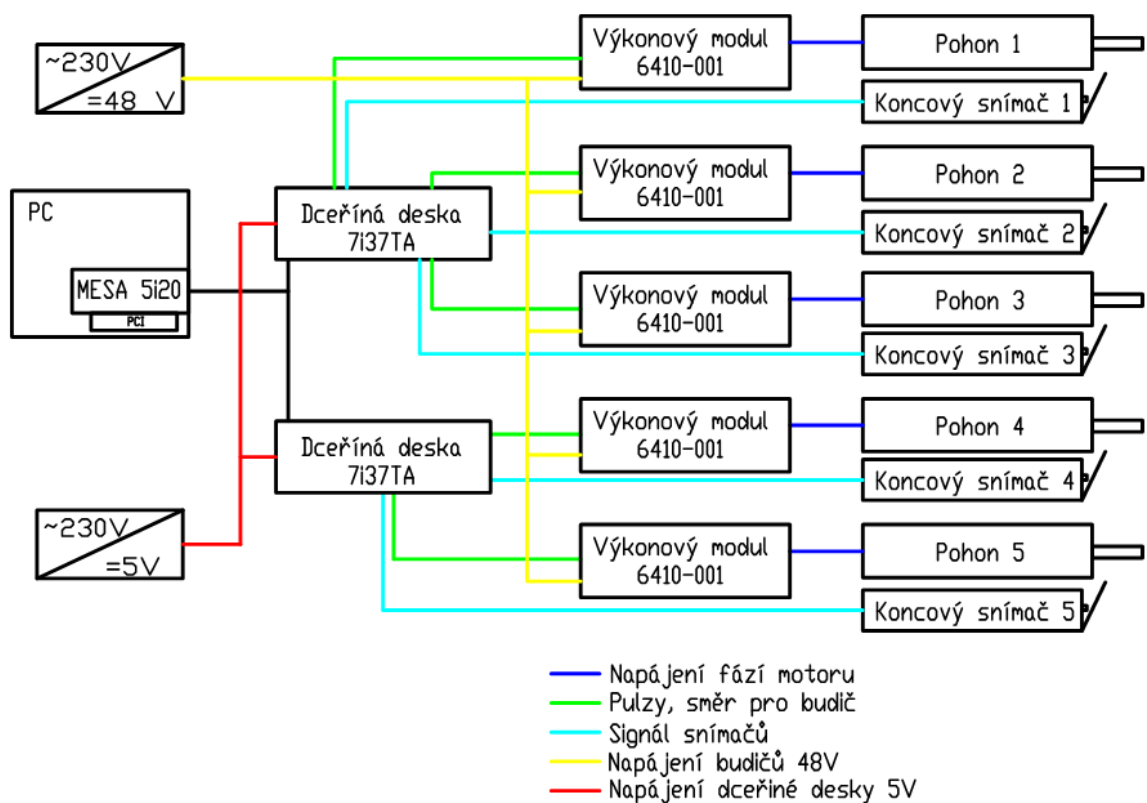
## 7. Varianty řešení

Varianty se zabývají řešením výpočetní části řídicího systému. Budou zpracovávat příkazy od uživatele, převádět je na informace odpovídající vstupu výkonové části.

### 7.1. Varianta A

Tato varianta obsahuje počítač s PCI kartou MESA 5i20. Tato karta obsahuje 72 I/O (vstupně/výstupních) pinů, které jsou řízeny programovatelným polem FPGA, s vnitřním mikroprocesorem. Spolu s dodávaným firmware SoftDMC umožňuje karta současné řízení až 8 motorů. Výhodou tohoto řešení je možnost využití volných pinů k jakékoli funkci, kterou lze do firmware naprogramovat. Umí také všechny základní funkce jako automatické vyhledávání nulové pozice, zastavení na limitních snímačích a běžné rychlostní profily.

Tato karta byla zvolena vzhledem k univerzálnosti a ceně, která je u specializovaných řídicích karet desetinásobná.



Obr. 17 – Schéma zapojení varianty A

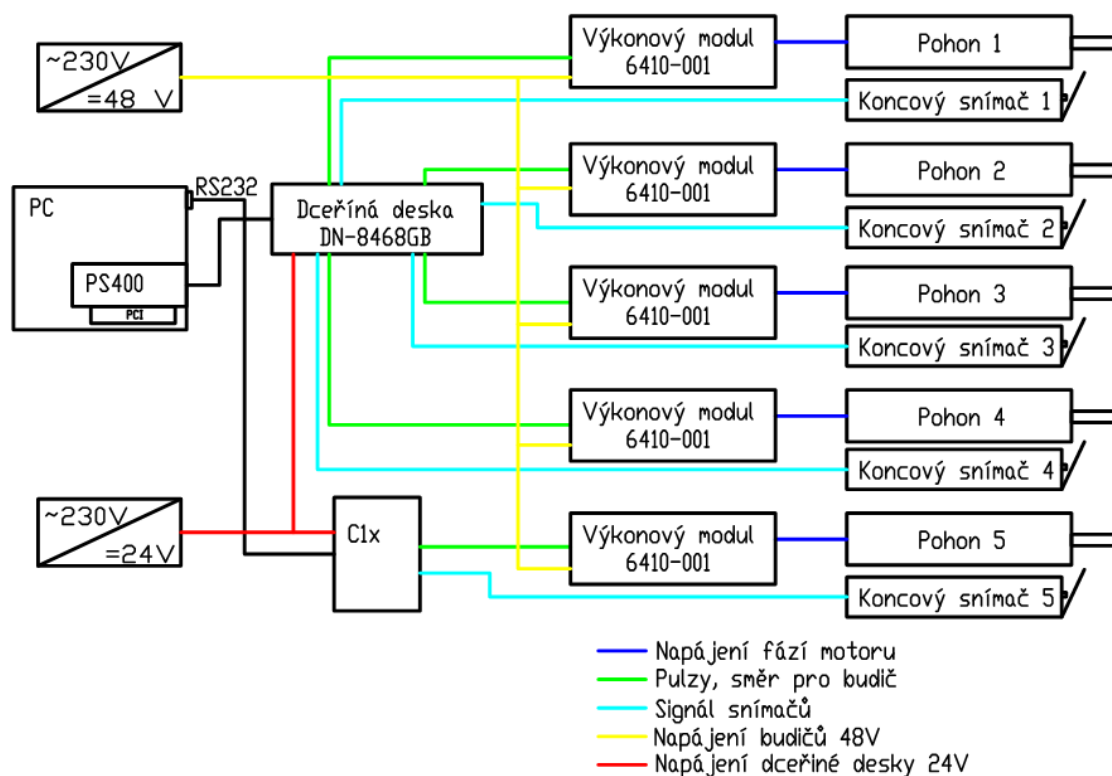
## 7.2. Varianta B

Tato varianta obsahuje počítač s PCI kartou PS400. Tato karta dokáže řídit čtyři osy. Zpracovává jednoduché příkazy, line (přímka), arc (úhel). Převádí je na odpovídající frekvenci pulzu podle zadané rychlosti, zrychlení pro jednotlivé výkonové stupně. Provádí interpolaci tří os po přímce, dvou os po kružnici.

Pata osa bude řešena přídatným modulem C1x, který se připojí přes port RS232 (sériová linka). Programování se provádí opět jednoduchými příkazy.

Karta PS400 i modul C1x jsou určeny pro řízení krokových, takže základní funkce jako hledání nulové pozice, zastavení na limitních snímačích a standardní rychlostní profily jsou taktéž obsaženy.

Výhodou tohoto řešení je jednoduché programování. Tato konkrétní karta byla zvolena díky dispozici na katedře.



Obr. 18 – Schéma zapojení varianty B

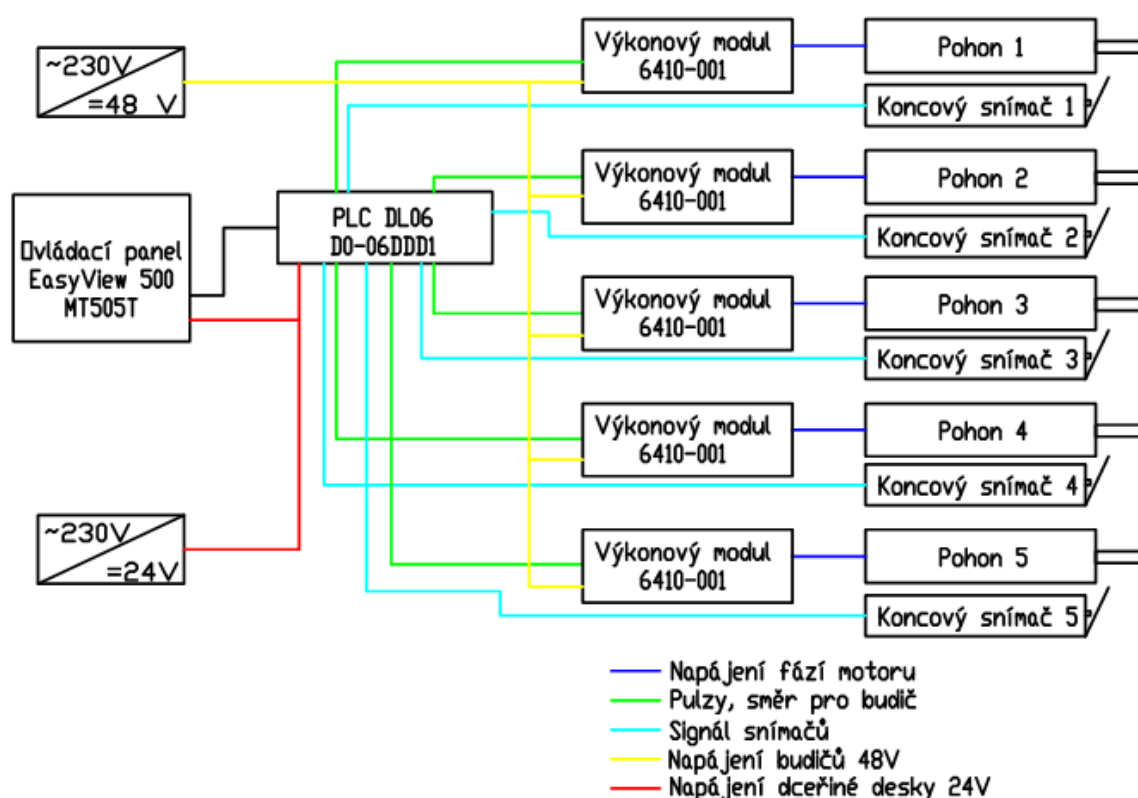
### 7.3. Varianta C

Varianta bude řízena PLC DL06 se čtyřmi vysokorychlostními rozšiřujícími kartami H0-CTRIO.

Toto PLC obsahuje vysokorychlostní HISO obvod který je určen k řízení motorů, je na něm k dispozici mód, který vysílá řídicí informace pro budič ve formátu pulzy, směr. Má tedy v sobě rychlostní řízení ve formátu T, S rozběhových křivek. Totéž zvládají rozšiřující karty, které se zasouvají do PLC.

Uživatel bude robota řídit pomocí ovládacího panelu připojeného k PLC. Další možností je vytvoření programu na PC a přenesení přímo do PLC.

Výhodou této varianty je velké množství vstupů, výstupů. Možnosti programování, které není omezeno na několik jednoduchých příkazů.



Obr. 19 – Schéma zapojení varianty C



## 8. Výběr optimální varianty

Navržené varianty je potřeba porovnat pro dosažení nejvhodnější varianty tedy optimální. Je potřeba určit kritéria hodnocení, význam kritérií a hodnotu plnění jednotlivých kritérií. Tyto hodnoty nám určí vážený index kritérií, jehož součet mezi jednotlivými variantami porovnáme. Tím dostaneme číselné vyjádření vhodnosti jednotlivých variant.

### 8.1. Kritéria hodnocení

V Tab. 1 se nacházejí vybraná kritéria hodnocení jejich charakteristiky. Na základě těchto kritérií jsou varianty porovnávány a hodnoceny.

Tab. 1 – Kritéria hodnocení

Označení kritéria	Kriterium	Charakteristika kritéria
K1	Obtížnost programování	Náročnosti tvorby obslužného programu
K2	Možnosti programování	Možnosti přizpůsobení
K3	Počet řízených os	Počet současně řízených os po určené trajektorii
K4	Možnosti rozšíření	Vstupy a výstupy pro připojení dalších snímačů
K5	Cena	Náklady na pořízení

### 8.2. Hodnoty kritérií

V mnoha případech jsou kritéria neměřitelné, proto funkční plnění jednotlivých kritérií je potřeba kvantifikovat, to provádíme vymezením několika stupňů plnění funkce kritéria. Jednotlivým stupňům přiřadíme bodové hodnocení. Přiřazené hodnoty jednotlivých stupňů jsou tím příznivější, čím menší bodové hodnocení mají. Bodová stupnice je v rozsahu od 1 do 6 (Tab. 2).

Tab. 2 – Hodnoty kritérií

Hodnoty kritérií	
Vysoká úroveň	1
Dobrá úroveň	2
Průměrná úroveň	3
Nízká úroveň	4
Nevyhovující úroveň	5

### 8.3. Hodnoty kritérií pro jednotlivé varianty

Kriteria variant byla ohodnocena v Tab. 3

Tab. 3 – Hodnoty kritérií variant

Označení kriteria	Variant A	Variant B	Variant C
<b>K1</b>	Zápis do zásobníku karty <b>4</b>	Jednoduché příkazy <b>1</b>	Jednoduché příkazy s výpočty <b>2</b>
<b>K2</b>	Tvorba vlastních příkazů <b>2</b>	Omezení na povelové příkazy <b>4</b>	Tvorba vlastních příkazů <b>2</b>
<b>K3</b>	8 <b>1</b>	3 <b>2</b>	5 <b>1</b>
<b>K4</b>	32 <b>1</b>	10 <b>2</b>	10 <b>2</b>
<b>K5</b>	7 140 Kč <b>3</b>	3800 Kč <b>1</b>	22600 Kč <b>1</b>

Ceny jsou bez DPH a jsou pouze komponentů, které nejsou na katedře k dispozici. Výkonové moduly do ceny nejsou zahrnuty, protože jsou potřeba ke všem variantám, a u všech variant jsou použity stejné typy.

## 8.4. Porovnávání kriterií v trojúhelníku párů

Hodnocení všech kriterií současně je složité a nepřesné. Porovnáváním pomocí metody trojúhelníku párů se posuzuje významnost současně pouze dvou kriterií.

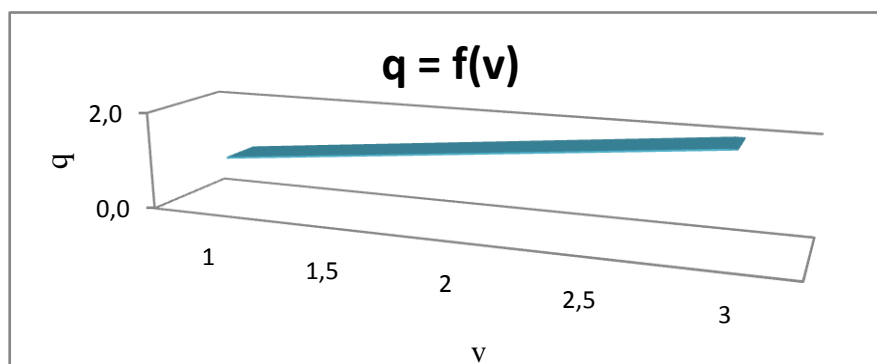
Tab. 4 znázorňuje toto porovnávání, významnější hodnota se zaznačí barvou, v případě shodné významnosti se zaznačí obě a počítá se polovina volby pro každou. Hodnoty jednotlivých kriterií se sečtou, tím dostaneme počet voleb  $v$ , určíme pořadí podle počtu voleb a vypočteme váhu významnosti  $q$ .

Váha významnosti v závislosti na počtu voleb je zobrazena na Grafu 1. Je zvolen lineární průběh váhy významnosti a to mezi hodnotami 1 a 2 pro hodnoty počtu voleb 1 až 3.

Tab. 4 – Trojúhelník párů

Porovnávané páry kriterií				Počet voleb $v$	Pořadí	Váha významnosti $q$
K1	K1	K1	K1	3	1	2,000
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	2	2	1,500
	K3	K4	K5			
		K3	K3	1	3	1,000
		K4	K5			
			K4	2	2	1,500
			K5	2	2	1,500

Graf 1 – Závislosti  $q$  na  $v$



## 8.5. Výpočet vážených indexu

Vážený index zahrnuje význam a hodnotu kritéria.

$$I_{ij}^* = q_i \cdot I_{ij}$$

$q_i \rightarrow$  Váha významnosti i-tého parametru

$I_{ij} \rightarrow$  Index změny i-tého parametru j-té varianty

Vážené indexy se nacházejí v Tab. 5 pro variantu A, v Tab. 6 pro variantu B a Tab. 7 pro variantu C.

Tab. 5 – Vážené indexy varianty A

Varianta A				
Kriterium	Hodnota	Váha významnosti kritéria	Index změny	Vážený index kritérií
		$q_i$	$I_{ij}$	$I_{ij}^*$
<b>K1</b>	4	0,923	4	3,692
<b>K2</b>	2	0,923	2	1,846
<b>K3</b>	1	0,923	1	0,923
<b>K4</b>	1	1,846	1	1,846
<b>K5</b>	3	2,000	3	6,000
Celkový součet vážených indexů $I_{ij}^*$ varianty A				<b>14,308</b>

Tab. 6 – Vážené indexy varianty B

Varianta B				
Kriterium	Hodnota	Váha významnosti kritéria	Index změny	Vážený index kritérií
		$q_i$	$I_{ij}$	$I_{ij}^*$
<b>K1</b>	1	0,923	1	0,923
<b>K2</b>	4	0,923	4	3,692
<b>K3</b>	2	0,923	2	1,846
<b>K4</b>	2	1,846	2	3,692
<b>K5</b>	1	2,000	1	2,000
Celkový součet vážených indexů $I_{ij}^*$ varianty B				<b>12,154</b>

Tab. 7 – Vážené indexy varianty C

Varianta C				
Kriterium	Hodnota	Váha významnosti kriteria	Index změny	Vážený index kriterií
		$q_i$	$I_{ij}$	$I_{ij}^*$
<b>K1</b>	2	0,923	1	1,846
<b>K2</b>	2	0,923	4	1,846
<b>K3</b>	1	0,923	2	0,923
<b>K4</b>	1	1,846	2	1,846
<b>K5</b>	4	2,000	1	8,000
Celkový součet vážených indexů $I_{ij}^*$ varianty C				<b>14,462</b>

## 8.6. Stanovení výsledné varianty

Tab. 8 – Porovnání celkových indexů variant

Pořadí	Celkový součet vážených indexů $I_{ij}^*$	Varianta
1	12,2	B
2	14,3	A
3	14,5	C

Po provedení hodnotové analýzy a zvážení výsledků, jsem došel k závěru, že optimální varianta B. Tato variant bude dále zpracovávána.

## 9. Rozbor vybrané varianty

Zde je uveden podrobnější popis jednotlivých prvků vybrané varianty.

### 9.1. Výkonový stupeň 6410-001

Tento výkonový stupeň slouží pro bipolární napájení krokových motor s pulzní regulací proudu s možností mikrokrokování. Obsahuje rozdělovač (sequencer) SQ1486. Sequencer přijímá signály Pulsy a Směr a převádí je na digitální hodnoty proudu pro obě fáze krokového motoru. Výkonové stupně jsou využívány v aplikacích, kde uživatel preferuje vlastní řízení, které generuje signály Pulsy a Směr. [7]



Obr. 20 – Výkonový stupeň 6410-001 [7]

Výkonový stupeň má pouze jedno napájecí napětí. Vzhledem k pulzní regulaci proudu není potřeba k napájení stabilizovaný zdroj, stačí jen transformátor a diodový můstek. [7]

Vstupní signály jsou galvanicky odděleny optočleny.

Tab. 9 – Specifikace vybraného modulu [7]

Napájecí napětí	24 - 65 VDC
Amplituda proudu	0,9 - 7 A
Nastavení proudu	v osmi stupních
Max. počet mikrokroků na krok	binárně až 256 dekadicky až 250
Automatické snížení proudu po zastavení motoru	ANO
Možnost vypnutí koncového stupně	ANO
Statické momenty vhodných krokových motorů	2,7 - 25 Nm
Rozměry	127 x 110 x 65 mm
Doporučený napájecí zdroj	PS 70

Výkonový stupeň 6410-001 byl vybrán s ohledem na dobré zkušenosti s distributorem.

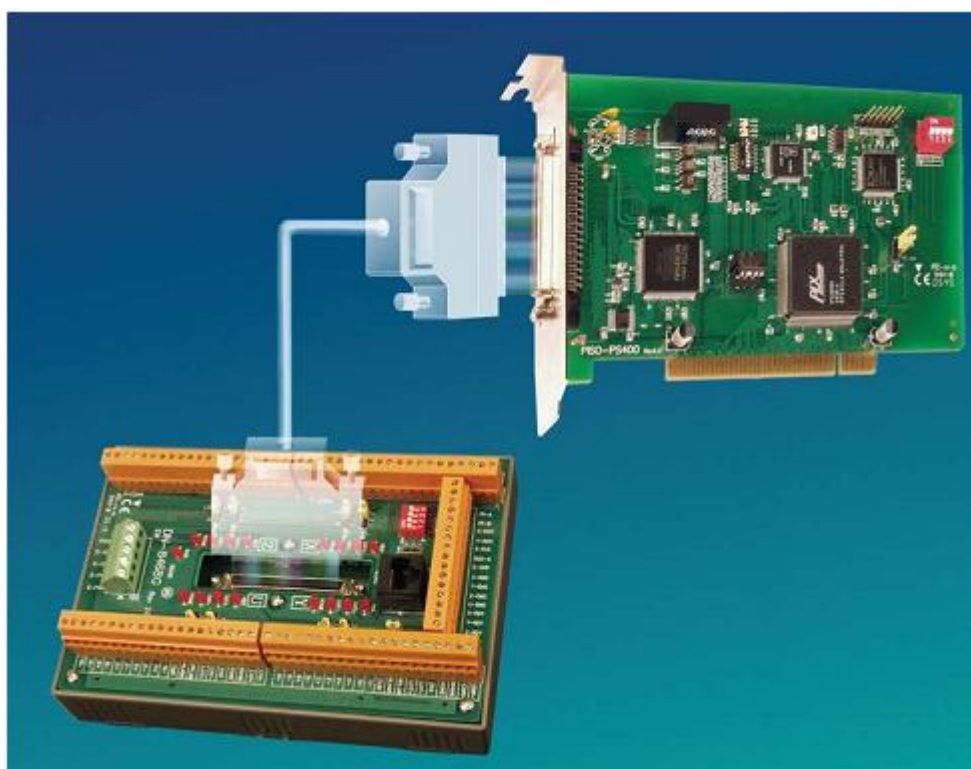
## 9.2. Výpočetní část PISO PS400

PISO-PS400 je 4osá PCI řídicí karta pro řízení krokových motorů s maximální rychlostí 4Mil PPS (pulzů za sekundu) a je vhodná pro obecné použití v řídicích aplikacích. [8]

Karta obsahuje vysoce výkonný ASIC pro vykonávání pohybu. Kromě velkého rozsahu rychlostí má tato řídicí karta řadu funkcí pro řízení pohybu 2-3 osou lineární interpolaci, 2osou kruhovou interpolaci T, S křivky zrychlení, zpomalení, různé synchronizace, vyhledávání a mnoho dalších. [8]

Karta obsahuje jeden FRnet port. Port FRnet umožňuje jednoduché rozšíření této karty o rychlé vzdálené vstupy, výstupy. Dvou-kabelová FRnet umožňuje automatické skenování 128 vstupů a 128 výstupů rychlostí 0.72/2.88ms. Navíc, většina funkcí je prováděna s malou zátěží procesoru. Monitorování pohybu, vstupů, výstupů je aktivní i při pohybu motorů. [8]

V důsledku nízkého zatížení CPU, může být použito více řídicích karet na jednom PC (Až 16 karet). Více osý (4 nebo 8 ... os) řídicí algoritmus lze vytvořit v jediném PC. [8]



Obr. 21 – Řídicí karta PISO PS400 s dceřinou deskou DN – 8468GB [8]

### 9.3. Výpočetní část C1x



Obr. 22 – Řídicí jednotka C1x

C1x obsahuje pouze řídicí část realizovanou kontrolérem M1486. [7]

Jednotka C1x je určena pro použití jako programovatelné řízení krokového motoru s výstupem Pulsy, Směr a Disable k externímu koncovému stupni pro napájení krokového motoru. Obsahuje také malý programovatelný automat pro univerzální řídicí aplikace. [7]

Jednotka velmi malých rozměrů 105 x 57 x 25 mm včetně krytu a držáku pro uchycení na DIN lištu. Uživatelské vstupy a výstupy (vyvedeny na zasouvací pružinové svorkovnice):

- 10 galvanicky oddělených uživatelských vstupů. Na svorkovnice jsou vyvedeny 2 společné katody a 10 anod vstupních diod optočlenů.
- Standardní úroveň vstupů 0; 24 V (7 mA).
- 4 galvanicky oddělené uživatelské výstupy.
- Výstupy jsou galvanicky odděleny optočleny. Na svorkovnice je vyveden 1 společný kolektor a 4 samostatné emitory výstupních tranzistorů optočlenů. Výstupní optočleny mají max. kolektorový proud 50 mA a max. napětí mezi kolektorem a emitorem 30 V. [7]

Zvýšená ochrana proti rušení - rozsáhlá zemní plocha, zcela galvanicky oddělený kontrolér M1486 y Možné připojení sériové linky volitelně přes konektor Cannon nebo přes svorkovnici. [7]

Signalizace stavu vstupů, výstupů a napájení LED diodami.

Pouze jedno napájecí napětí v rozsahu od 12 VDC do 48 VDC, interní spínaný zdroj pro napájení řídicích obvodů. [7]



## 10. Testování komponent

Testování probíhá kvůli zjištění potřebných dodatečných komponent v zapojení. Ověření plnění potřebných funkcí. Dimenzování zdroje.

### 10.1. Karty PS400

Karta byla testována na demonstračním pracovišti. Na lineární jednotce (Obr. 23) byla otestována schopnost karty zastavit na limitních senzorech a dále nepokračovat v pohybu, i přesto že od uživatele přicházejí příkazy ve směru pohybu proti koncovému senzoru. Dále byla prověřena schopnost systému „auto home“, který automaticky hledá pozici 0,0 v souřadném systému a vynuluje čítače pohybu.



Obr. 23 – Lineární jednotka

Na motorech osazených cd disky (Obr. 24) byla testována možnost synchronizace vzájemných pohybů. Návaznosti pohybů na sebe, což je důležitá funkce má-li se robot pohybovat po křivce. Po tom bylo zjištěno, že ovladač verze 3.1 provádí návazná pohyb pouze konstantní rychlostí. Proto byla použita verze 2.3, která dokáže provádět kontinuální pohyb se zrychlením, průběh rychlosti tedy může odpovídat T, S křivce. Programovací příkazy jsou ovšem složitější než v novější verzi.



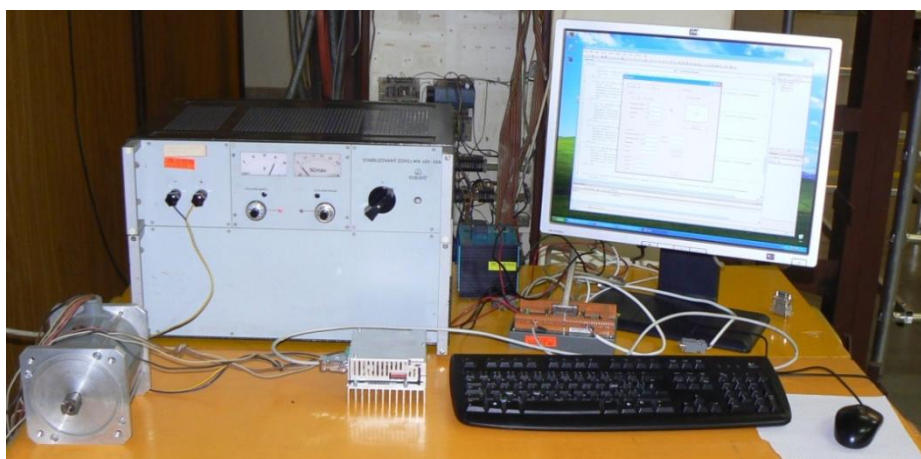
Obr. 24 – Motor pro testy synchronizace

Pro účel vyzkoušení karty PS400 byl vytvořen prozatímní ovládací program (Obr. 25), který dovoluje řídit jednotlivé osy, hledat výchozí pozici pomocí limitních senzorů. Zvládá dvouosý pohyb, který se může skládat z více po sobě následujících lineárních pohybu tak i z kombinace kruhových a lineárních pohybů. Program umožňuje získávání aktuální polohy (v krocích od počáteční polohy). Poslední důležitou funkcí je tlačítko stop, které okamžitě zastaví všechny pohony.

Obr. 25 – Testovací ovládací program

## 10.2. Zapojení krokových motorů na budiče

Byl vyzkoušen jeden krokový motor mimo konstrukci připojený k výkonovému modulu, napájení bylo provedeno stabilizovaným zdrojem s nastaveným napětím 39V (Obr. 26). Na tomto zapojení byla ověřena potřeba kondenzátoru mezi stabilizovaným napájecím zdrojem a výkonovým modulem, bez něj motor nedržel moment v poloze a nebyl se schopen rozběhnout. Schéma zapojení je na Obr. 27.



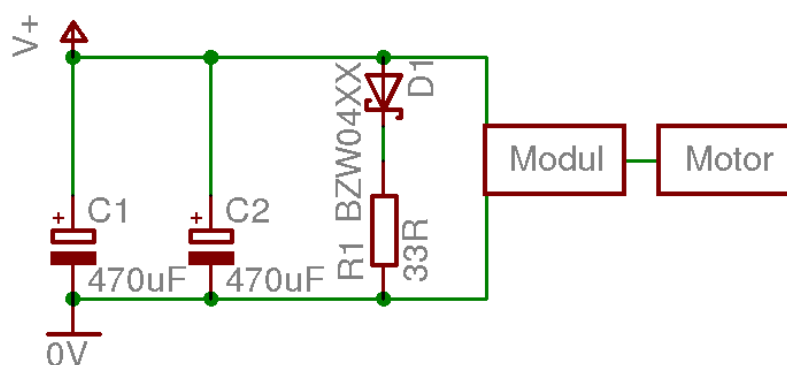
Obr. 26 – Testovací zapojení

### 10.3. Schopnost regenerace energie

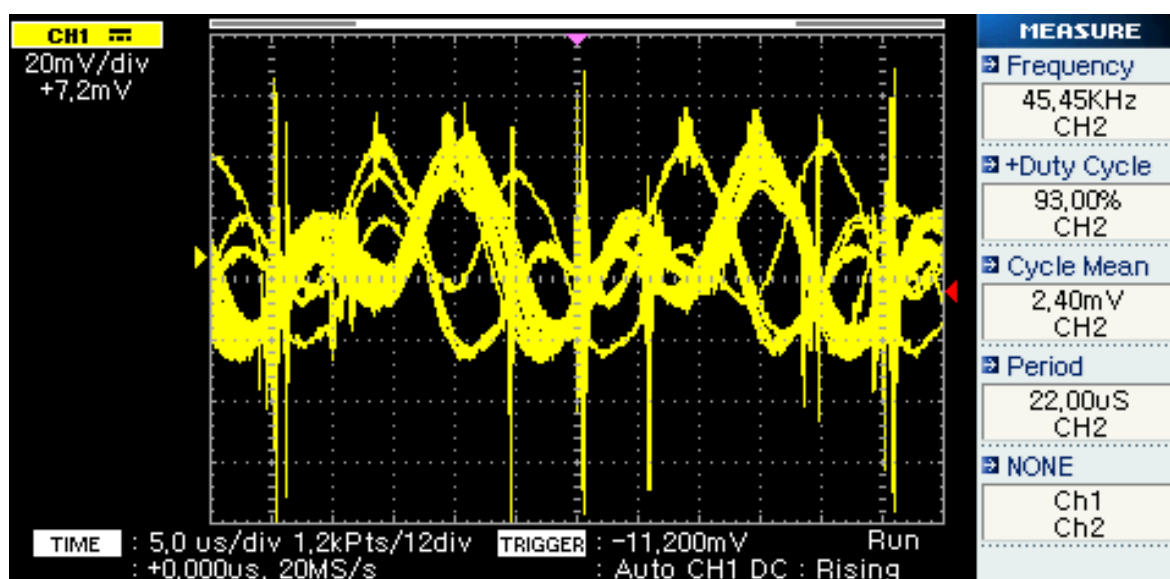
Dle doporučení výrobce výkonového modulu byla testována schopnost regenerace energie při brzdění motoru. Měření bylo prováděno nejprve na motoru mimo konstrukci, pak byl vybrán motor s největší zátěží na ose Z.

Na schématu (Obr. 27) je zapojení testovacího obvodu. Ochranná přepětíová dioda D1 s ochranným napětím 39 V v sériovém zapojení s rezistorem R1 funguje jako měřicí prvek. Pomocí osciloskopu byl nastaven úbytek napětí na rezistoru R1 7 mV (Obr. 28). Při brzdění motoru se objevilo zvlnění o maximální hodnotě 100 mV (Obr. 28) na zatížené ose, na nezatíženém motoru se objevila špička pouze v přechodu do režimu brzdění.

Z tohoto měření usuzují, že energie vrácena do systému se bez problému přemění na teplo ve vybíjecím rezistoru pro kondenzátor. Ten nebyl do testovacího obvodu zařazen kvůli měření.



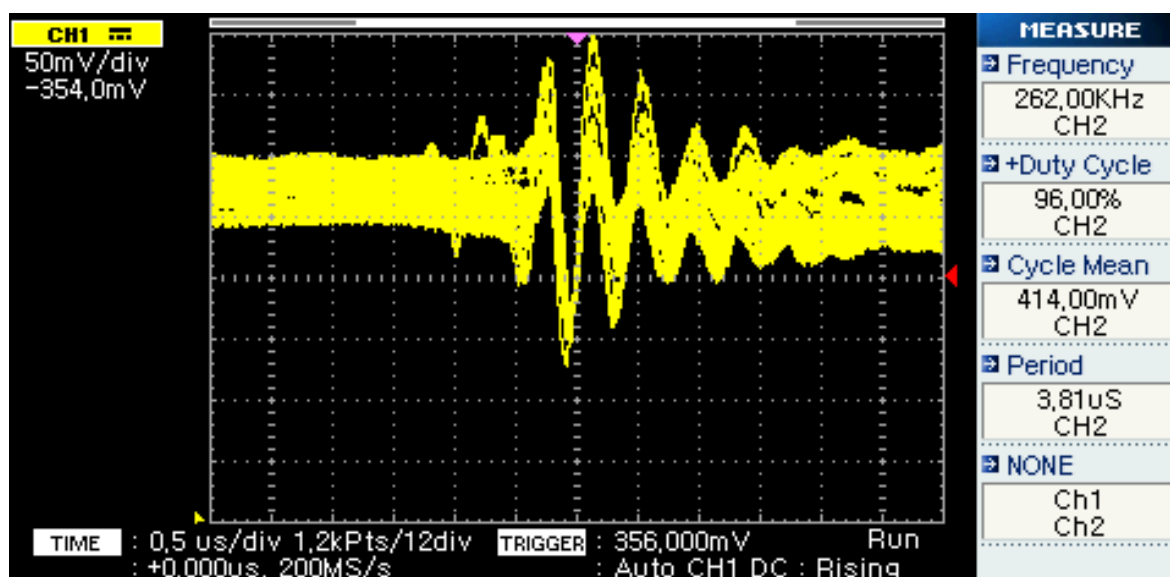
Obr. 27 – Připojení na stabilizovaný zdroj



Obr. 28 – Měření přepětí při brzdění motoru se zátěží

#### 10.4. Dimenzování zdroje

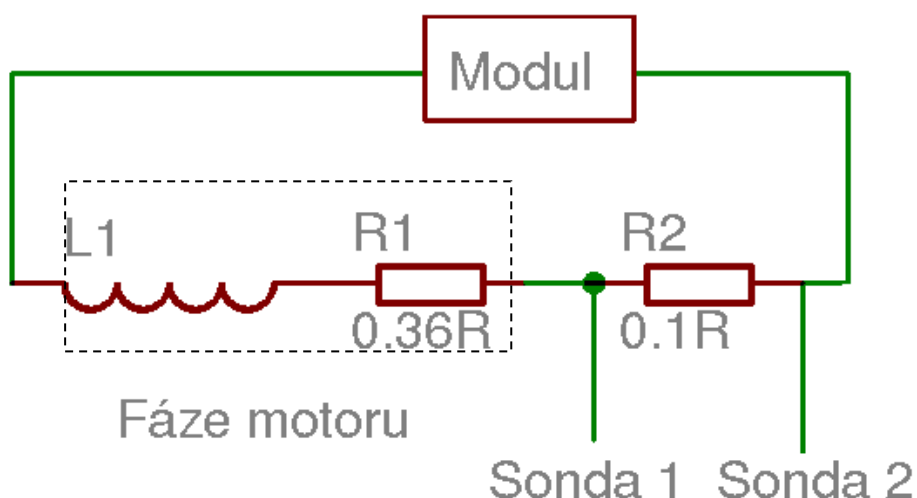
Byl měřen proud tekoucí ze zdroje pomocí úbytku napětí na rezistoru Obr. 29. Na něm bylo zjištěno, že konstantně tekoucí proud do výkonového stupně je 1 A (pokud není zapnuto snížení proudu při zastavení na výkonových stupních). Maximální proud tekoucí ze zdroje při rozběhu motoru je 1,7 A, při napětí 39 V.



Obr. 29 – Měření proudu odebíraného ze zdroje

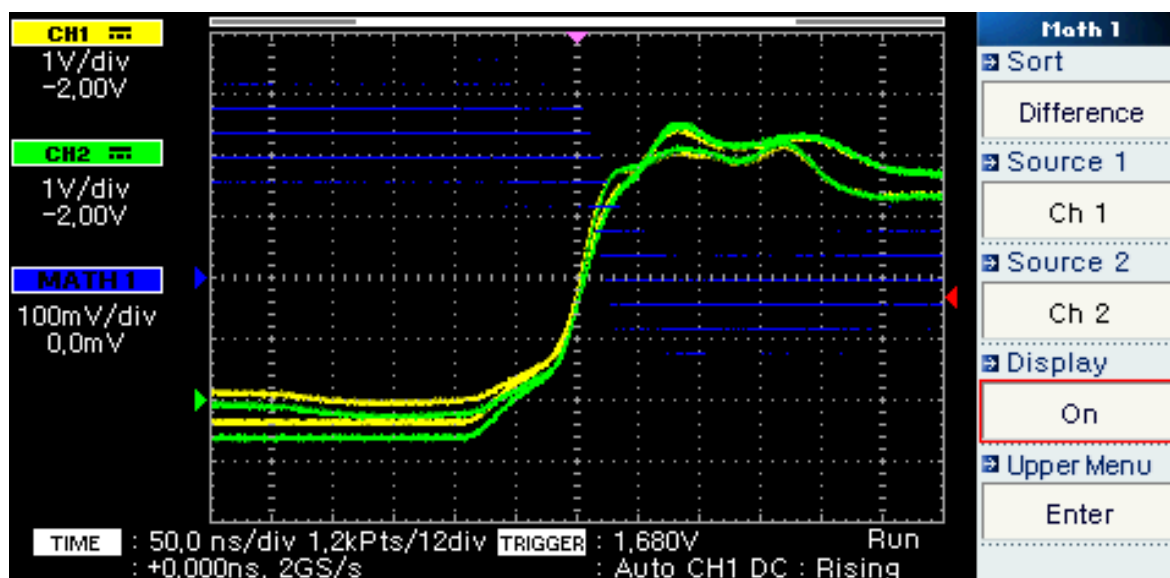
Z čehož vyvstává úvaha, zdali do motoru teče opravdu proud 7 A. Proběhlo měření dle schématu na Obr. 30. Mezi výkonový modul a fázi motoru byl připojen měřící rezistor. Úbytek napětí na rezistoru nebylo možné změřit jednou sondou, jelikož po připojení druhé

svorky sondy se výkonový modul deaktivoval. Měření tedy probíhalo připojením dvou sond a výpočtu rozdílu mezi sondami.



Obr. 30 – Schéma zapojení měření proudu protékajícího jednou fází motoru

Výsledek měření je na Obr. 31. Žlutou barvou je vyznačen průběh napětí na první sondě, zelenou na druhé. Ruční výpočet rozdílu by byl dost obtížný, odčtem z obrazovky. Proto byla zapnuta funkce osciloskopu rozdíl kanálů, která je na Obr. 31 vyznačena modře. Rezistor byl připojen k nulovému potenciálu, proto je měřený rozdíl v levé části, když byl předpokládán v oblasti vyšších hodnot měřené fáze.



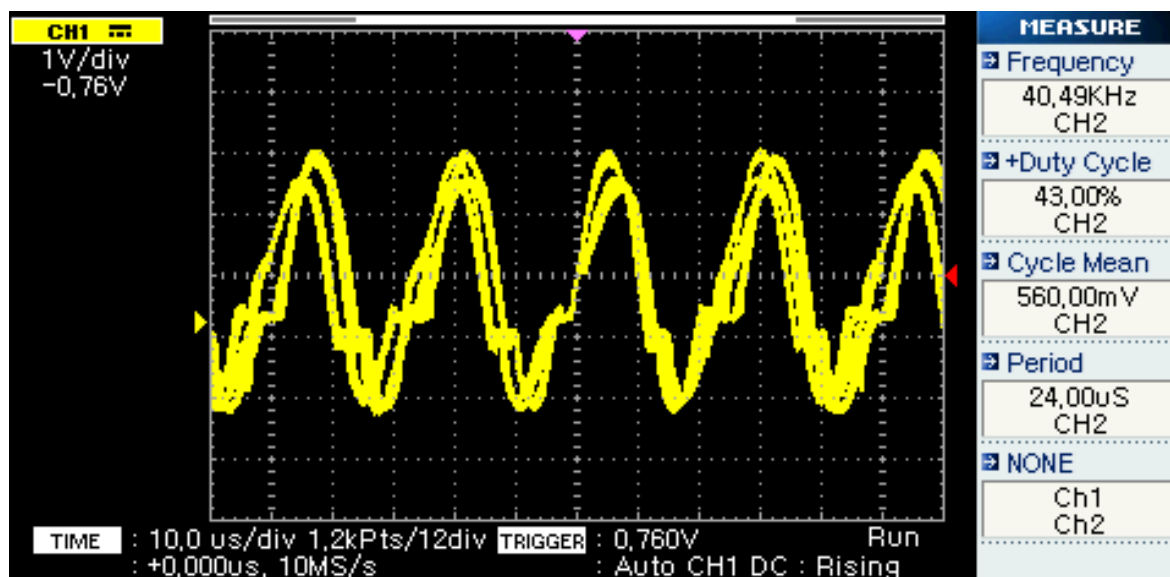
Obr. 31 – Měření proudu protékajícího jednou fází motoru

Úbytek napětí na odporu je přibližně 0,3 mV. Při použitím rezistoru 0,1  $\Omega$ . Vychází proud tekoucí jednou fází motoru 3 A.

S tímto měřením se shoduje měření proudu vtékajícího do výkonového modulu (Obr. 32). Kde byl naměřen maximální úbytek na rezistoru 2,76V což při použitém rezistoru  $0,33\ \Omega$  odpovídá 8,36 A.

Střední hodnota 560 mV zase odpovídá proudu tekoucímu ze zdroje tedy 1,7 A.

Na průběhu grafu (Obr. 32) lze vidět, práci proudového zdroje výkonových modulů. Ten udržuje proud tekoucí cívkou kolem určené hodnoty. Pomocí spínání výkonového prvku, který sepne napájení fáze, díky indukčnosti nabíhá proud na cívce určitý čas. Po náběhu na určenou hodnotu, se výkonový prvek rozeptne a následuje pokles, dokud proud neklesne na stanovenou hodnotu, potom se cyklus opakuje.



Obr. 32 – Měření proudu vstupujícího do výkonového modulu

Z těchto měření vyplývá, že do motoru by mňel téci proud 6 A, jelikož bylo změřeno na jedné fázi 3 A. Vzhledem k moderní konstrukci výkonového modulu a možností modulů z doby výroby motoru. Bude tento proud dostatečný k dosažení dostatečného krouticího momentu pro pohyb robotu i při vyšších krokovacích frekvencích.

Byly také měřeny případné úbytky napětí při rozběhu motoru, úbytky nebyly patrné, tudíž byly hodnoty kondenzátoru ponechány.

Z těchto měření jsem usoudil, že zdroj, který je k dispozici o parametrech napětí 48 V proud 6,3 A by mohl být dostatečný. Další měření provedu, až se budou pohybovat všechny jednotky najednou, případně udělám omezení v ovládacím programu.

## 11. Zapojení řídicí části

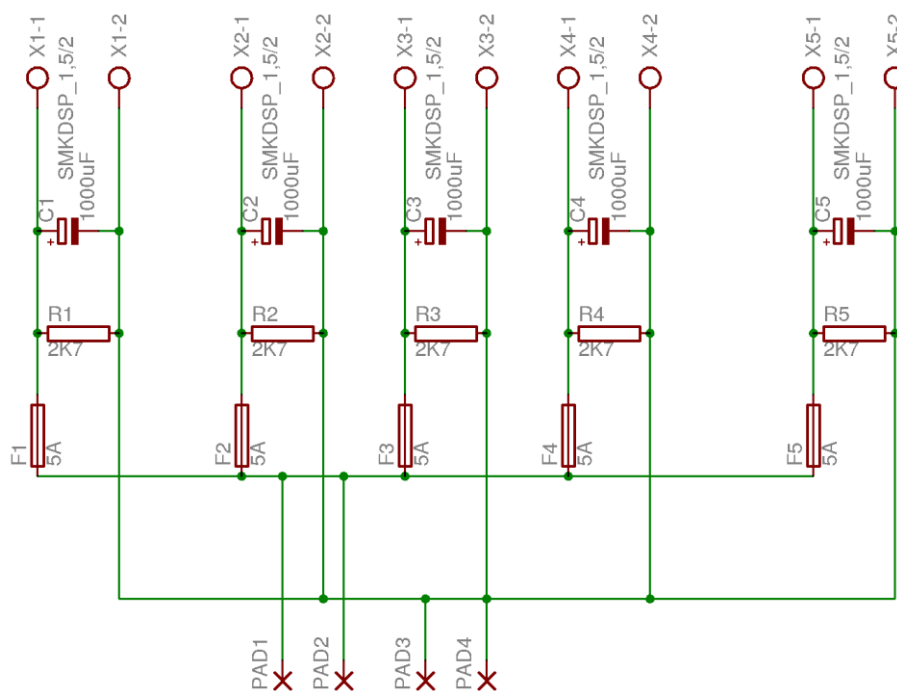
Podrobné schéma zapojení celého řídicího systému se nachází v příloze 3. Zde jsou vybrány jen základní části.

### 11.1. Napájení výkonových modulů

Napájecí část byla navržena (Obr. 33) podle doporučení výrobce výkonového modulu a to samostatný kondenzátor odpor a pojistku pro, každý výkonový modu.

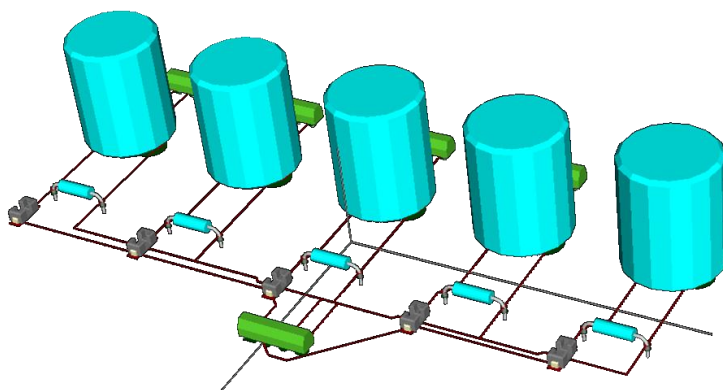
Kondenzátory z testovací C1, C2 (Obr. 27) části byly sloučeny do jednoho (Obr. 33). Rezistory o ztrátovém výkonu 5 W a hodnotě odporu  $2,7\text{ k}\Omega$  jsou při jmenovitém napětí 53 V zatíženy 1 W, mají tedy dostatečnou rezervu pro vyzáření přebytečné energie vzniklé při brzdění motoru, která byla v předchozích měřeních zjištěna jako velmi malá.

Pojistky byly vybrány dvojnásobné hodnoty oproti maximálnímu tekoucímu proudu tedy 5 A je to poloviční hodnota oproti doporučení výrobce, byla zvolena z důvodu male pojistky 6,3 A na výstupu napájecího zdroje, aby zareagovala dříve, než pojistka ve zdroji pro snadnější detekci závad.



Obr. 33 – Schéma napájecího plošného spoje





Obr. 34 – 3D model napájecího plošného spoje

## 11.2. Napájecí zdroje

Napájecí zdroje jsou dva. Jeden napájí řídicí část, tedy dceřinou desku DN – 8468GB a modul Cx1, napětím 24 V (Obr. 35). Druhý napájí výkonové moduly. Napájecím napětím 48 V to lze ještě zvýšit o 10% (Obr. 36). Zvýšení bylo provedeno pro dosažení co nejmenšího proudu, aby mohlo být v pohybu co nejvíce jednotek. Bylo ověřeno v testovací části, že se zvyšujícím se napětím klesá potřebný proud.



Obr. 35 – Napájecí zdroj EC POWER PSU242

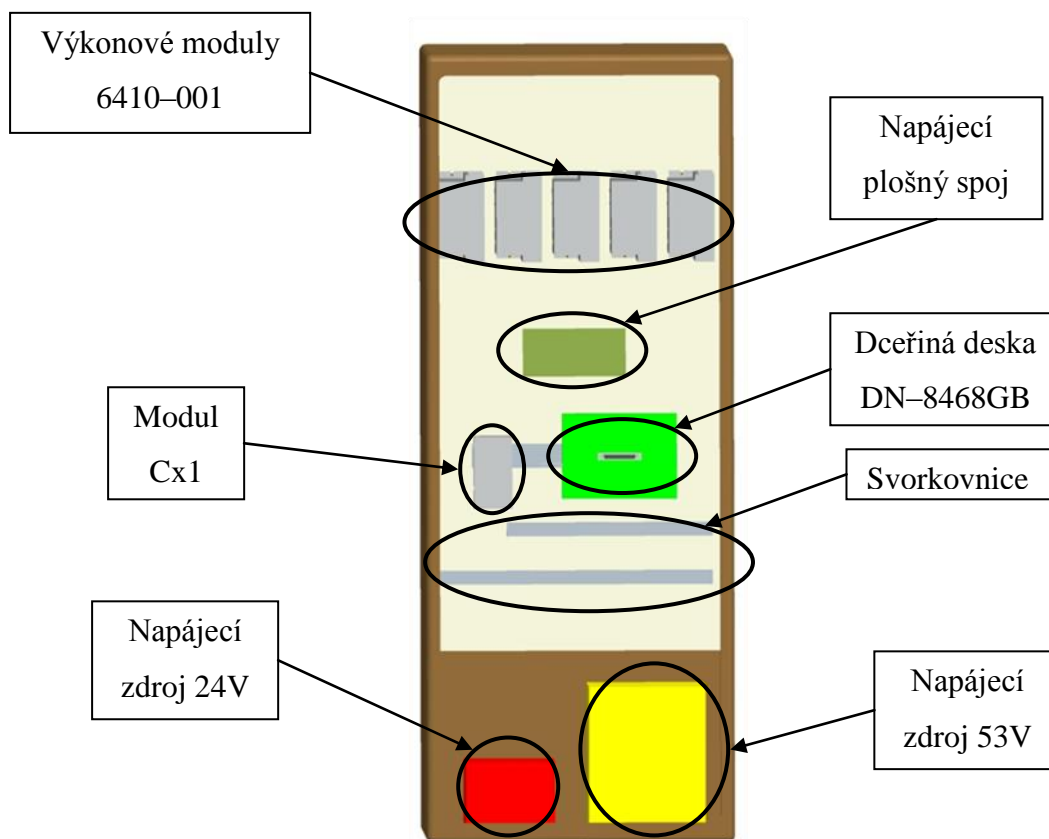


Obr. 36 – Napájecí zdroj AXIMA AXSZ02



### 11.3. Rozmístění komponent v rozvodné skříni

Na Obr. 37 se nachází schéma rozmístění součástí řídicího systému v rozvodné skříni robotu. Skříň je uzavřená bez větrání. Výkonové moduly jsou umístěny 10 cm od vrchní části. Jsou hlavním zdrojem tepelného záření, proto jsou umístěny nejvýše. Volný prostor je z důvodu nejvyšší teploty v nejvyšším místě ve skříni. Zbytek komponent je rozmístěn podle potřeby vedení kabeláže.



Obr. 37 – Schéma rozmístění součástí

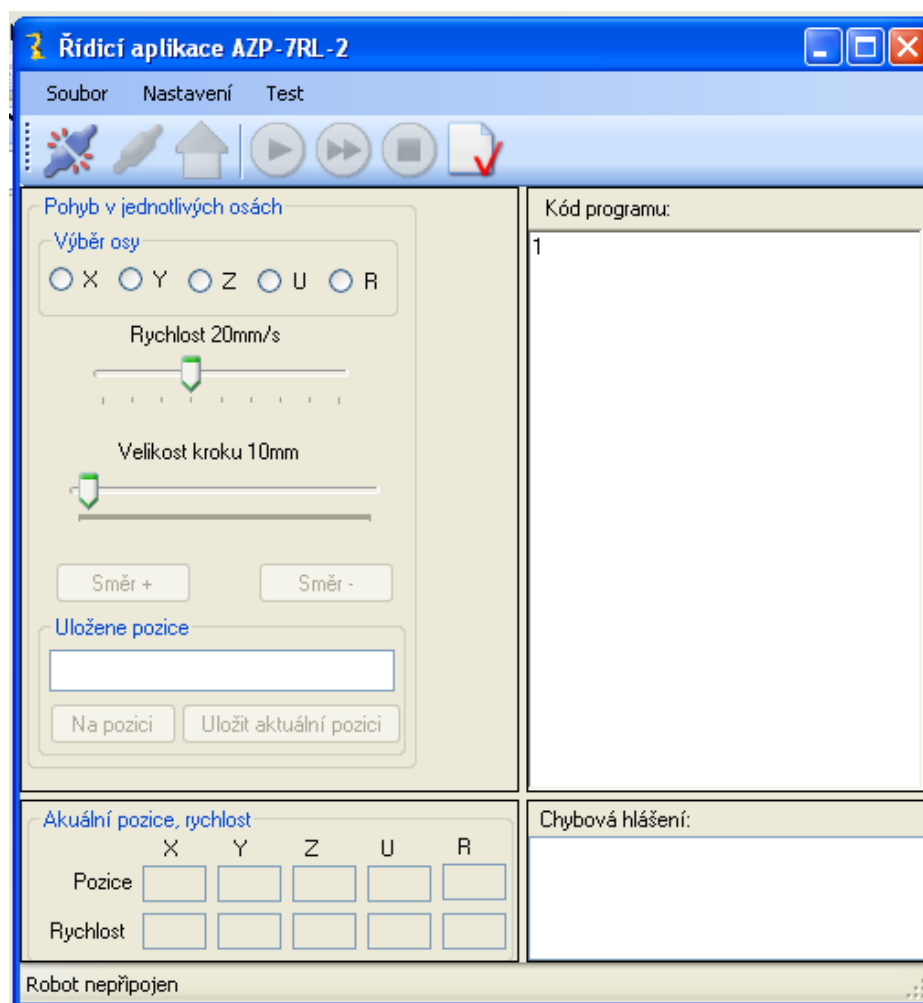
Teploty budou měřeny při plném zatížení v zavřené skříni. Z předběžného sledování teploty nepřesáhly 30 °C, pokud byly výkonové moduly volně položeny, bez přídavného větrání v místnosti s teplotou kolem 20 °C.

#### 11.4. Realizace řídicí části



Obr. 38 – Realizace řídicí části v rozvodné skříní robotu

## 12. Řídicí aplikace



Obr. 39 – Ovládací program

Řídicí aplikace je rozdělena do čtyř částí Obr. 39.

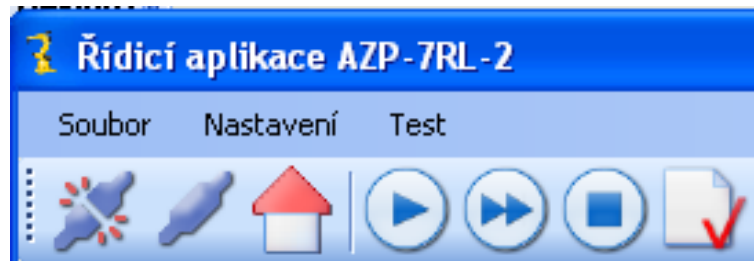
Levá horní část slouží k pohybování jednotlivými osami. Ukládání aktuální polohy do paměti a projíždění uložených bodů robotem.

Pod ní se nachází část sledující aktuální rychlost (mm/s) a pozici (mm), hodnoty jsou pouze z čítače řídicí karty. Na robotu nejsou enkodery takže při přetížení robotu hodnoty nemusí odpovídat.

V pravé horní části je textové pole pro vlastní povelový program.

Pravá spodní část slouží pro výpisy chyb v programu. Protože program kontroluje správnost zadaných příkazů a jim náležících hodnot nesmí být v této části zapsaná žádná chybová zpráva. V opačném případě se program nespustí.

## 12.1. Nástrojová lišta



Obr. 40 – Nástrojová lišta, Tlačítka zleva: Připojení k robotu, Odpojení robotu, Hledání pozice 0,0,0, Spuštění programu, Spuštění programu v cyklu, Okamžité zastavení, Kontrola programu

### Funkce jednotlivých tlačítek:

**Připojení k robotu** – Aktivace všech karet v PC. Vytvoření seznamu karet podle ID nastaveného přepínači na kartě. Vybrání první karty ze seznamu. Nastavení pulzního módu. Nastavení maximální rychlosti a příkazu pro vyhledávání nulové pozice na všech osách. Pro rotační osu zastavení kruhového zásobníku. Otevření sériového portu pro komunikaci s jednotkou C1x. Aktivace všech výkonových jednotek. Prodleva potřebná pro aktivaci jednotky. Ukázka tohoto kódu je na Obr. 41.

```
nErrCode = PS400_Card_Init()
    If nErrCode = SUCCESS_NO_ERROR Then

        card_num = PS400_Total_Card()

        For i = 0 To card_num - 1 Step 1
            CardID(i) = PS400_Get_CardNo(i)
        Next
        cardNo = CardID(0) 'vybere první kartu
        nErrCode = PS400_Reset_Card(cardNo)
        nErrCode = PS400_Set_PulseMode(cardNo, AXIS_XYZU, 2)
        nErrCode = PS400_Set_MaxSpeed(cardNo, AXIS_XYZU,
MMtoKR(MaxRychlost))

        'nastavení pro hledání vychozí pozice
        nErrCode = PS400_Set_HomeSpeed(cardNo, AXIS_XYZU,
MMtoKR(MinStRychlost), MMtoKR(40), MMtoKR(100), MMtoKR(MinStRychlost))
        nErrCode = PS400_Set_HomeLimit(cardNo, AXIS_XYZU, 1)
        nErrCode = PS400_Set_HomeMode(cardNo, AXIS_XYZU, 0, 2, 0,
0, 0)

        nErrCode = PS400_Set_Vring(cardNo, AXIS_U, 1, MMtoKR(400))
        SerialPort1.Open()
        nErrCode = PS400_Set_Servo_ON(cardNo, AXIS_XYZU, 1)
        SerialPort1.Write("T1")
        SerialPort1.Write(cr)
        Sleep(25)
```

Obr. 41 – Zdrojový kód tlačítka: Připojení k robotu

**Odpojení robotu** – Deaktivace všech jednotek. Zavření řídicí karty a sériového portu. Oznámení do stavového řádku. Vymazání stavu připojení výkonových modulů. Vypnutí všech ovládacích tlačítek robotu.

```
nErrCode = PS400_Set_Servo_ON(cardNo, AXIS_XYZU, 0)
SerialPort1.Write("C1")
nErrCode = PS400_Card_Close()
SerialPort1.Close()
ConToRob.Text = "Robot nepřipojen!"
ToolStripStatusLabel1.Text = ""
Pripojeni_robotu.Enabled = True
Odpojeni_robotu.Enabled = False
Zaporny_posuv.Enabled = False
Kladny_posuv.Enabled = False
Spustit_program.Enabled = False
Spustit_program_cyklus.Enabled = False
Zastaveni_provedeni.Enabled = False
```

Obr. 42 – Zdrojový kód tlačítka: Odpojení robotu

**Hledání pozice 0,0,0** – Tlačítko zahajuje hledání nulové pozice na všech osách a to tak, že se rameno rozjede proti taktilnímu snímači. Pokud již snímač sepnutý je, začne se vyhledávat snímač na opačném konci. Jelikož snímače jsou pouze na jedné straně, toto chování není vhodné, zabraňuje mu kód na Obr. 43.

```
nErrCode = PS400_Get_DI_Status(cardNo, AXIS_X, done(0))
nErrCode = PS400_Get_DI_Status(cardNo, AXIS_Y, done(1))
nErrCode = PS400_Get_DI_Status(cardNo, AXIS_Z, done(2))
nErrCode = PS400_Get_DI_Status(cardNo, AXIS_U, done(3))
If DecBin(done(0)).Substring(6, 1) = 0 Then osa = 1
If DecBin(done(1)).Substring(6, 1) = 0 Then osa = osa + 2
If DecBin(done(2)).Substring(6, 1) = 0 Then osa = osa + 4
If DecBin(done(3)).Substring(6, 1) = 0 Then osa = osa + 8
nErrCode = PS400_Home_Start(cardNo, osa)
```

Obr. 43 – Zdrojový kód tlačítka: Hledání pozice 0,0,0

**Spuštění programu** – Spouští zkontrolovaný program. Při kontrole se program uloží do kolekce. Z kolekce se provádějí jednotlivé příkazy. Pokud jsou příkazy pro pohyb bez přerušení změnou rychlosti zrychlení. Provádí se pohyb bez zastavení navazováním jednotlivých pohybů na sebe.

V ukázce Obr. 44 je pouze vymazání kolekce, volání kontroly programu, získání aktuální pozice z čítače řídicí karty, poté kontrola chyby v programu a ukončení programu. Dále následuje cyklus, který prochází celou kolekcí, a rozhoduje aktuální pohyb či uložení



do proměnné. Celý výpis kódu bude v příloze 2. Kód je příliš rozsáhlý a diplomová práce by ztratila přehlednost.

```

program.Clear()
Kontrola_programu()
nErrCode = PS400_Get_Command(cardNo, AXIS_X,
KRtoMM(Aktualni_pozice(0)))
nErrCode = PS400_Get_Command(cardNo, AXIS_Y,
KRtoMM(Aktualni_pozice(1)))
nErrCode = PS400_Get_Command(cardNo, AXIS_Z,
KRtoMM(Aktualni_pozice(2)))
If chyba = False And program(program.Count).nazev Is "END"
Then
    For i = 1 To program.Count
        Select Case True
            Case program(i).nazev Is "ACC"
                nastaveni = False
                accel = program(i).hodnota
            Case program(i).nazev Is "SPD"
                nastaveni = False
                speed = program(i).hodnota

```

Obr. 44 – Ukázka zdrojového kódu tlačítka: Spuštění programu

**Spuštění programu v cyklu** – Odpovídá spuštění programu, ale neukončí se, bude pokračovat od začátku, dokud ho uživatel nepřeruší.

**Okamžité zastavení** – Zastaví všechny osy bez dokončení příkazu. Počká půl sekundy a vymaže příznak zastavení, je tedy možné opět pohybovat robotem.

```

nErrCode = PS400_Set_SdStop(cardNo, AXIS_XYZU)
Sleep(500)
nErrCode = PS400_Clear_Stop_Status(cardNo)

```

Obr. 45 – Zdrojový kód tlačítka: Okamžité zastavení

**Kontrola programu** – Tlačítko je možno využít ke kontrole programu bez připojení robotu. Kontrola probíhá takto, text se čte po řádcích a rozdělí do jednotlivých proměnných v místě mezer. Ty se nejdříve porovnají s odpovídajícími názvy příkazů programu, zkontrolují se rozsahy hodnot a zapíše do kolekce.

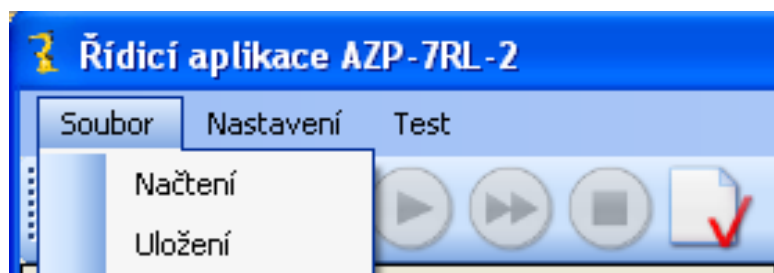
V případě nesouhlasu názvu příkazu nebo hodnoty, se vypíše řádek, na kterém se chyba nachází a chybná hodnota. Takto se prochází celý program, aby uživatel nemusel opravovat po jednotlivých řádcích a hned viděl množství chyb.

Ke kontrole příkazů se používají regulární výrazy, jejich výhoda je v tom, že uživatel nemusí sledovat velká a malá písmena v příkazu, pouze musí mít příkaz správné znění.

```
TextBox1.Clear()  
    For i = 0 To RichTextBox1.Lines.Length - 1  
        radek = RichTextBox1.Lines(i)  
        Dim shody As MatchCollection = Regex.Matches(radek, "[a-  
zA-Z0-9\,]+")  
        If shody.Count > 1 Then  
            Dim prikaz As New prikaz  
            prikaz.pozice = CInt(shody(0).Value)  
            Dim regex As New  
System.Text.RegularExpressions.Regex(shody(1).Value)  
            Select Case True  
                Case regex.IsMatch(shody(1).Value, "ACC",  
RegexOptions.IgnoreCase)  
                    hodnota = CDb1(shody(2).Value)  
                    If hodnota < 0 Or hodnota > 40 Then  
                        TextBox1.AppendText("Neplatná hodnota "  
& hodnota & " na řádku číslo: " & i + 1 & Chr(13) & Chr(10))  
                        chyba = True  
                    Else  
                        prikaz.nazev = "ACC"  
                        prikaz.hodnota = hodnota  
                        program.Add(prikaz)  
                    End If  
            End If
```

Obr. 46 – Ukázka zdrojového kódu tlačítka: Kontrola programu

## 12.2. Menu programu



Obr. 47 – Menu programu

Menu programu obsahuje tři záložky, první je pro práci se soubory, do nich je možné ukládat a z nich načítat program. Soubory mají formát prostého textu a jsou pouhými kopiemi textu z programu a uložených bodů do příslušných sekcí.

Druhá záložka, nastavení slouží k přenastavení dělení na mikrokroky, pokud by bylo změněno dělení na jednotkách, lze ho přenastavit.

Záložka test slouží k testování náběhu výkonových modulů. Je možné samostatně zapínat a vypínat výkonové moduly se znázorněním zpětné informace o stavu modulů.

### 12.3. Průběh programu

Tlačítkem připojení k robotu se připojíme k řídicím kartám, jsou li dostupné. Po úspěšném připojení je spuštěn první časovač (Obr. 48). Ten přečte hodnoty digitálních vstupů. Jelikož je informace uložena v decimální soustavě musíme ji převést na binární a vytáhnout potřebný informační bit. Pomocí bitu signálu EMG pro jednotlivé osy zjistíme, je li deska napájena, nebo ve stavu nouzového zastavení, ale tyto vstupy nejsou použity. Nouzový stop je využit hromadný pro všechny osy a je řešen také v silové části.

Dále se používá vstup IN3 který je pro obecné použití. Do něj přichází informace o stavu výkonových modulů.

Na řídicí jednotce C1x je potřeba zkopírovat stav vstupu do proměnných čitelných z PC. Zaslát požadavek na poslání proměnné a počkat na zpracování.

```
nErrCode = PS400_Get_DI_Status(cardNo, AXIS_X, status(0))
nErrCode = PS400_Get_DI_Status(cardNo, AXIS_Y, status(1))
nErrCode = PS400_Get_DI_Status(cardNo, AXIS_Z, status(2))
nErrCode = PS400_Get_DI_Status(cardNo, AXIS_U, status(3))

POW_CerinaDeska = DecBin(status(0)).Substring(5, 1)
POW_CerinaDeska = POW_CerinaDeska &
DecBin(status(1)).Substring(5, 1)
POW_CerinaDeska = POW_CerinaDeska &
DecBin(status(2)).Substring(5, 1)
POW_CerinaDeska = POW_CerinaDeska &
DecBin(status(3)).Substring(5, 1)

POW_Budice(0) = DecBin(status(0)).Substring(1, 1)
POW_Budice(1) = DecBin(status(1)).Substring(1, 1)
POW_Budice(2) = DecBin(status(2)).Substring(1, 1)
POW_Budice(3) = DecBin(status(3)).Substring(1, 1)
SerialPort1.Write("?171")
SerialPort1.Write(cr)
SerialPort1.Write("U4")
SerialPort1.Write(cr)
Sleep(500)
```

Obr. 48 – Testování spuštění napájení, získání hodnot

Dále se rozhoduje, zdali jsou zapnuty výkonové moduly a napájení (Obr. 49).

Pokud jsou moduly zapnuté, zpřístupní vypnuta tlačítka pro ovládání robotu.



```
    If SerialPort1.BytesToRead Then POW_Budice(4) =  
SerialPort1.ReadChar  
    If POW_CerinaDeska = "0000" Then  
        StavBudicu.Text = ""  
        If POW_Budice(0) = 1 Then StavBudicu.Text =  
StavBudicu.Text & "Budič 1 neaktivní! "  
        If POW_Budice(1) = 1 Then StavBudicu.Text =  
StavBudicu.Text & "Budič 2 neaktivní! "  
        If POW_Budice(2) = 1 Then StavBudicu.Text =  
StavBudicu.Text & "Budič 3 neaktivní! "  
        If POW_Budice(3) = 1 Then StavBudicu.Text =  
StavBudicu.Text & "Budič 4 neaktivní! "  
        If POW_Budice(4) = 1 Then StavBudicu.Text =  
StavBudicu.Text & "Budič 5 neaktivní! "  
    Else  
        StavBudicu.Text = "Napájení robotu není zapojeno!"  
    End If  
    If StavBudicu.Text = "" Then  
        Zaporny_posuv.Enabled = True  
        Kladny_posuv.Enabled = True  
        Spustit_program.Enabled = True  
        Spustit_program_cyklus.Enabled = True  
        Zastaveni_provedeni.Enabled = True  
        NaPozici.Enabled = True  
        UlozAtualPozice.Enabled = True  
    End If
```

Obr. 49 – Testování spuštění napájení, rozhodování

Poté je potřeba vyhledat pozici 0,0,0, protože pokud na této pozici zůstaneme, vypneme a zapneme robot, pozice se neuchová. Je to způsobeno tím, že motory se při připojení napájení pootočí.

S každým pohybovým příkazem tedy i s vyhledáváním nulové pozice se spouští druhý časovač. Ten nejprve provede kontrolu dokončení pohybu (Obr. 50), ať už pohybu obecného nebo vyhledávání nulové pozice.

```
nErrCode = PS400_Motion_Done(cardNo, AXIS_XYZU, DoneM)  
nErrCode = PS400_Home_Done(cardNo, AXIS_XYZU, DoneH)  
If DoneH = YES And home_find = False Then  
    Timer2.Enabled = False  
    nErrCode = PS400_Set_Command(cardNo, AXIS_XYZU, 0)  
    PS400_Set_SoftLimit(cardNo, AXIS_XY, MMtoKR(1000), 0, 0)  
    PS400_Set_SoftLimit(cardNo, AXIS_Z, MMtoKR(750), 0, 0)  
    PS400_Set_SoftLimit(cardNo, AXIS_U, MMtoKR(200), MMtoKR(-  
200), 0)  
    home_find = True  
End If
```

Obr. 50 – Druhý časovač, kontrola dokončení pohybu a nastavení limitů

Pokud je vyhledávání nulová pozice hotovo vynulují se čítače na řídicí kartě, nastaví se softwarové limity a vypne se časovač. Ty jsou nastaveny podle rozsahu udávaného v manuálu. Nastaví se hodnota proměnné `home_find`, ta souží k tomu, aby se čítače nenulovaly stále dokola.

```
If DoneM = YES Then Timer2.Enabled = False
nErrCode = PS400_Get_Command(cardNo, AXIS_X, PulseX)
nErrCode = PS400_Get_Command(cardNo, AXIS_Y, PulseY)
nErrCode = PS400_Get_Command(cardNo, AXIS_Z, PulseZ)
nErrCode = PS400_Get_Command(cardNo, AXIS_U, PulseU)
nErrCode = PS400_Get_Speed(cardNo, AXIS_X, DriveX)
nErrCode = PS400_Get_Speed(cardNo, AXIS_Y, DriveY)
nErrCode = PS400_Get_Speed(cardNo, AXIS_Z, DriveZ)
nErrCode = PS400_Get_Speed(cardNo, AXIS_U, DriveU)

PosX.Text = KRtoMM(PulseX)
PosY.Text = KRtoMM(PulseY)
PosZ.Text = KRtoMM(PulseZ)
PosU.Text = KRtoMM(PulseU) * 180 / 200
VelX.Text = KRtoMM(DriveX)
VelY.Text = KRtoMM(DriveY)
VelZ.Text = KRtoMM(DriveZ)
VelU.Text = KRtoMM(DriveU) * 180 / 200
```

Obr. 51 – Druhý časovač, získání aktuální rychlosti a zrychlení

Zastavení časovače se provádí před načítáním hodnot z čítače. Nejprve se musí pohyb dokončit a pak lze získat aktuální polohu (Obr. 51), jinak by se zobrazovala poloha předchozího průběhu časovače tedy těsně před zastavením. U otáčivého pohybu je ještě proveden převod na stupně.

Posuvy v jednotlivých osách (Obr. 52) mají nastavenou startovací rychlost v oblasti maximálního momentu a zrychlení na hodnotě 100 mm/s. Posuvníkem je možné měnit pouze maximální rychlost a velikost kroku tedy počet milimetrů, které robot ujede na jedno stisknutí tlačítka. Tyto hodnoty jsou poslány do funkce, která provádí výpočet rychlosti ze zadaných parametru po rampové rychlostní křivce.

```
start_rychlost = MMtoKR(MinStRychlost)
rychlost = MMtoKR(RychlRuc.Value)
pulzy = MMtoKR(VelKroku.Value)
zrychleni = MMtoKR(100)
If axis <> 100 Then
    Timer2.Enabled = True
    nErrCode = PS400_T_Move(cardNo, axis, start_rychlost,
rychlost, zrychleni, 0, pulzy)
```

Obr. 52 – Posuvy v jednotlivých osách

## 12.4. Příkazy programu

Příkazy jsou ve formátu číslo řádku, ten se doplňuje automaticky, příkaz, hodnota parametru případně hodnoty, vše odděleno mezerami.

### **Jsou použity standardní příkazy:**

Acc – Udává hodnotu zrychlení, parametr číslo větší než 0.

Di – Čekání na digitální vstup, první parametr je vstup 1 až 3, druhý určuje, na jakou logickou úroveň se má čekat 0 nebo 1.

Dly – Prodleva v sekundách mezi pohyby.

Do – Nastavení digitálního výstupu, první parametr je výstup 1 až 4, druhý 1 nebo 0 pro nastavení logická úrovně.

End – Musí být na konci programu, určuje tedy jeho konec.

Jump – Skok na určitý řádek v programu.

Movc – Pohyb po kružnici, parametr je hodnota polohy ve dvou souřadnicích a to první dvě jsou střed kruhu druhé koncový bod kruhu, nebo uložená pozice.

Movl – Pohyb po kružnici, parametr je hodnota polohy v souřadnicích X, Y, Z, nebo uložená pozice.

Spd – Hodnota rychlosti, parametr je číslo z rozsahu 0 až 150.

### 13. Závěr

Diplomová práce byla zpracována na základě stávající konstrukce průmyslového robotu AZP-7LR-2. Byl proveden rozbor krokových motoru, systémy napájení a řízení.

Byly také zjišťovány možnosti výkonových modulů na trhu. Kromě rozdílných napěťových, proudových parametrů, možnosti mikrokrokování byly moduly shodné ve způsobu zapájení a způsobu řízení. Tudíž byl zvolen osvědčený výrobce.

Zjištěné informace poskytly náměty na sestavení tří variant řídicí části celého systému. Dvě varianty byly řízeny z PC, jejichž řídicí části představovaly každá jiné možnosti řízení. Třetí varianta byla řízena pomocí PLC.

Pomocí hodnotové analýzy byla vybrána optimální varianta.

Varianta byla otestována na možnosti plnění potřebných funkcí. Byly vyzkoušeny výkonové moduly za účelem zjištění regenerační energie při brzdění motoru a zabránění jejímu hromadění v kondenzátorech. Také byly testovány nároky na vhodný zdroj pro výkonovou část.

Byla zpracována optimální varianta s ohledem na výsledky testování v podobě schéma zapojení a schéma rozmístění součástí v rozváděcí skříni. Ze schématu zapojení bylo rozpracováno schéma rozvodu energie do jednotlivých modulů v podobě návrhu plošného spoje.

Společně s realizací zapojení do rozvodné skříně byl vytvářen ovládací program. Ten umožňuje současný pohyb ve třech osách, opsání kružnice ve dvou osách a návazný pohyb několika příkazu na sebe bez zastavení.

Diplomová práce splňuje zadání a požadavkový list. Realizace se zdařila do té úrovně, že se pohybují všechny osy a robot vykonává příkazy zadané ovládacím programem bezchybně.

Tato práce by se dala rozšířit o spoustu prvků, například řízení z ovládacího panelu pomocí posílání frekvence do řídicí karty. Bylo by možné také vytvořit grafický model pohybující se pomocí příkazu programu, aby bylo možno vyzkoušet bezchybnost programu v prvcích, které nebyly do automatické kontroly zahrnuty.

## 14. Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory [online]. Ostrava : Ediční středisko (VŠB - Technická univerzita Ostrava), 2007 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: < <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/pram/index.html> >. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [2] TALÁCKO, Jaroslav; MATIČKA, Robert. Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. Vyd. 1. Praha : ČVUT, Strojní fakulta, 1995. 236 s. ISBN 8001012913.
- [3] NOVÁK, Petr. Experimentální metody v mechatronice. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. s. ISBN 9788024816319
- [4] All About Circuits [online]. 2003 [cit. 2010-05-18]. Stepper motors. Dostupné z WWW: [http://www.allaboutcircuits.com/vol\\_2/chpt\\_13/5.html](http://www.allaboutcircuits.com/vol_2/chpt_13/5.html)
- [5] W. JONES , Douglas . THE UNIVERSITY OF IOWA [online]. 1998, 14-Sep-2009 [cit. 2010-05-18]. Control of Stepping Motors . Dostupné z WWW: <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/types.html>
- [6] IRC5 Řídicí systém [online]. 2003 [cit. 2010-05-18]. ABB. Dostupné z WWW: <http://www.abb.cz/product/seitp327/6b8702ea01945ffac125752e0039e097.aspx?productLanguage=cz&country=CZ>
- [7] Katalog produktů Microcon [online]. 10/2009 [cit. 2010-05-18]. Microcon. Dostupné z WWW: [http://www.microcon.cz/pdf2009/katalog\\_2009.pdf](http://www.microcon.cz/pdf2009/katalog_2009.pdf)
- [8] PISO-PS400 [online]. 2007 [cit. 2010-05-18]. ICPDAS. Dostupné z WWW: [http://www.icpdas.com/products/DAQ/pc\\_based/piso\\_ps400.htm](http://www.icpdas.com/products/DAQ/pc_based/piso_ps400.htm)
- [9] Wikipedia [online]. 2004 [cit. 2010-05-18]. Application-specific integrated circuit. Dostupné z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/Application-specific\\_integrated\\_circuit](http://en.wikipedia.org/wiki/Application-specific_integrated_circuit)
- [10] Wikipedia [online]. 2008 [cit. 2010-05-18]. Programovatelný logický automat. Dostupné z WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD\\_logick%C3%BD\\_automat](http://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD_logick%C3%BD_automat)
- [11] Wikipedia [online]. 2009 [cit. 2010-05-18]. Programovatelné hradlové pole. Dostupné z WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD\\_logick%C3%BD\\_automat](http://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD_logick%C3%BD_automat)
- [12] Wikipedia [online]. 2006 [cit. 2010-05-18]. PCI (sběrnice). Dostupné z WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/PCI\\_\(sb%C4%9Brnice\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/PCI_(sb%C4%9Brnice))

## 15. Seznam obrázků

Obr. 1 – Příklad řídicího systému firmy ABB [6].....	11
Obr. 2 – Reakční krokový motor [4].....	13
Obr. 3 – Krokový motor s permanentním magnetem [4].....	13
Obr. 5 – Hybridní krokový motor [4].....	14
Obr. 4 – Konstrukce Krokového motoru s permanentním magnetem [4].....	14
Obr. 6 – Vínutí dvoufázového krokového motoru [4] .....	15
Obr. 7 – H most.....	15
Obr. 8 – Mikrokrokování [3].....	16
Obr. 9 – Zapojení cívky na napěťový zdroj .....	16
Obr. 10 – Zapojení cívky s nuceným proudem .....	17
Obr. 11 – Zapojení cívky na proudový zdroj .....	17
Obr. 12 – Závislost momentu na způsobu buzení [3] .....	17
Obr. 14 – Kinematické schéma robotu.....	18
Obr. 13 – Portálový robot AZP-7RL-2 .....	18
Obr. 15 – Motor Z42VV141 .....	20
Obr. 16 – Zapojení motoru na svorkovnici .....	20
Obr. 17 – Schéma zapojení varianty A .....	22
Obr. 18 – Schéma zapojení varianty B.....	23
Obr. 19 – Schéma zapojení varianty C.....	24
Obr. 20 – Výkonový stupeň 6410–001 [7].....	30
Obr. 21 – Řídicí karta PISO PS400 s dceřinou deskou DN – 8468GB [8].....	31
Obr. 22 – Řídicí jednotka C1x .....	32
Obr. 23 – Lineární jednotka .....	33
Obr. 24 – Moroty pro testy synchronizace.....	33
Obr. 25 – Testovací ovládací program.....	34
Obr. 26 – Testovací zapojení.....	35
Obr. 27 – Připojení na stabilizovaný zdroj.....	35
Obr. 28 – Měření přepětí při brzdění motoru se zátěží .....	36
Obr. 29 – Měření proudu odebíraného ze zdroje .....	36
Obr. 30 – Schéma zapojení měření proudu protékajícího jednou fází motoru .....	37
Obr. 31 – Měření proudu protékajícího jednou fází motoru .....	37
Obr. 32 – Měření proudu vstupujícího do výkonového modulu.....	38

Obr. 33 – Schéma napájecího plošného spoje.....	39
Obr. 34 – 3D model napájecího plošného spoje .....	40
Obr. 35 – Napájecí zdroj EC POWER PSU242.....	40
Obr. 36 – Napájecí zdroj AXIMA AXSZ02 .....	40
Obr. 37 – Schéma rozmístění součástí .....	41
Obr. 38 – Realizace řídicí části v rozvodné skříni robotu .....	42
Obr. 39 – Ovládací program.....	43
Obr. 40 – Nástrojová lišta .....	44
Obr. 41 – Zdrojový kód tlačítka: Připojení k robotu.....	44
Obr. 42 – Zdrojový kód tlačítka: Odpojení robotu .....	45
Obr. 43 – Zdrojový kód tlačítka: Hledání pozice 0,0,0.....	45
Obr. 44 – Ukázka zdrojového kód tlačítka: Spuštění programu .....	46
Obr. 45 – Zdrojový kód tlačítka: Okamžité zastavení .....	46
Obr. 46 – Ukázka zdrojového kódu tlačítka: Kontrola programu.....	47
Obr. 47 – Menu programu.....	47
Obr. 48 – Testování spuštění napájení, získání hodnot.....	48
Obr. 49 – Testování spuštění napájení, rozhodování .....	49
Obr. 50 – Druhý časovač, kontrola dokončení pohybu a nastavení limitů .....	49
Obr. 51 – Druhý časovač, získání aktuální rychlosti a zrychlení .....	50
Obr. 52 – Posuvy v jednotných osách .....	50

## 16. Seznam tabulek

Tab. 1 – Kriteria hodnocení.....	25
Tab. 2 – Hodnoty kritérií.....	26
Tab. 3 – Hodnoty kritérií variant.....	26
Tab. 4 – Trojúhelník párů.....	27
Tab. 5 – Vážené indexy varianty A.....	28
Tab. 6 – Vážené indexy varianty B .....	28
Tab. 7 – Vážené indexy varianty C .....	29
Tab. 8 – Porovnání celkových indexu variant .....	29
Tab. 9 – Specifikace vybraného modulu [7] .....	30

## 17. Seznam příloh

Příloha 1.	Návod ovládacího programu
Příloha 2.	Výpis kódu ovládacího programu
Příloha 3.	Výkres zapojení SCHEM-01
Příloha 4.	Obrázky z realizace
Příloha 5.	CD “Diplomová práce“

Obsah CD:

- Přílohy
- Katalogy
- Diplomová práce.doc
- Výkresy